

**IKÄÄNTYVIEN PALOMIESTEN KUORMITTUMINEN
SAVUSUKELLUSTESTIRADAN AIKANA SEKÄ
KUORMITUKSESTA PALAUTUMINEN**

Jussi Kirjavainen

Pro gradu -tutkielma

Liikuntalääketiede

Itä-Suomen yliopisto

Lääketieteen laitos

Maaliskuu 2012

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Terveystieteiden tiedekunta

Lääketieteen laitos

Liikuntalääketiede

KIRJAVAINEN, JUSSI: Ikääntyvien palomiesten kuormittuminen savusukellustestiradan aikana sekä kuormituksesta palautuminen

Pro gradu -tutkielma, 88 sivua, 3 liitettä (4 sivua)

Ohjaajat: LKT, dos. Katriina Kukkonen-Harjula, FT, dos. Anne Punakallio

Maaliskuu 2012

Avainsanat: Palautuminen (YSA), fyysinen kuormittavuus (YSA), savusukellus (YSA), sykevälivaihtelu

Palomiesten eläkeiän nostaminen on aiheuttanut haasteen pitää ikääntyvät palomiehet savusukelluskelpoisina mahdollisimman pitkään. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon ikääntyvät palomiehet kuormittuvat savusukellustestiradan aikana ja miten he palautuvat kuormituksesta testiradan jälkeen.

Tutkittavina oli 13 palomiestä Etelä-Suomesta. Yksi sykevälimittaus jouduttiin hylkäämään testissä ilmenneen liian suuren virheprosentin myötä. Lopullisen tutkimusjoukon (N=12) taustatiedot olivat: ikä 48 ± 5 vuotta, pituus 178 ± 6 cm, paino 83 ± 6 kg, BMI $26,4 \pm 1,3$ kg/m² ja VO₂max $41,7 \pm 3,7$ ml/kg/min. Savusukellusta jäljittelevä testirata koostui viidestä tehtävästä, joista kuhunkin oli käytettävissä vakioitu aika. Mittaukset suoritettiin yhden päivän aikana tyhjässä ajoneuvohallissa Haagan paloasemalla Helsingissä. Koko savusukellustestiradan ajan mitattiin sykettä, tallennettiin tehtäviin kulunut aika ja kysyttiin koettua kuormittuneisuustuntemusta (RPE) Borgin asteikolla jokaisen osatehtävän jälkeen.

Sykemittaukset toteutettiin Suunto T6 -rannetietokoneella. Sykemittaus käynnistettiin tutkittavan istuessa paikallaan 10 minuutin ajan. Seuraavaksi tutkittavat pukivat päälleen täydellisen sammutusvarustuksen ja suorittivat savusukellustestiradan. Savusukellustestiradan jälkeen tutkittavat istuivat paikallaan 30 minuuttia, minkä aikana sykemittausta jatkettiin edelleen. Verenpaine mitattiin 1, 3 ja 5 minuuttia testin päättymisestä. Mittausten jälkeen syke- ja verenpaine- ja sykevälimuuttujat tallennettiin rannetietokoneelta Firstbeatin Hyvinvointianalyysi-ohjelmaan.

Tutkittavien keskimääräinen kuormittuminen prosentteina maksimisykkeestä savusukellustestiradalla oli 85 %HRmax (vaihteluväli 81–92), joka vastaa hyvin rasittavaa sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumista. Suurin koettu kuormittuminen (RPE 18) testiradan aikana havaittiin ryömintätehtävässä. Luku vastaa erittäin rasittavaa koettua kuormitusta. Suurimmat EPOC (lepotason ylittävä hapenkulutuksen määrä) -arvot radalla nousivat keskimäärin 80:een (ml/kg), joka vastaa kuormitukseltaan raskasta liikuntaa. Syke oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi vielä 30 minuuttia (p=0,02) savusukellustestiradan jälkeen verrattuna ennen testiä mitattuun sykkeeseen. Sykevälimuuttujat (RMSSD p=0,005, SD p=0,004, HFI p=0,06) eivät myöskään palautuneet 30 minuutin aikana testiä edeltävälle tasolle.

Tutkimus osoitti, että savusukellustestirata kuormitti ikääntyviä palomiehiä tavalla, joka vastaa hyvin rasittavaa sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumista. Tutkittavat myös palautuivat hitaasti savusukellustestiradan aiheuttamasta rasituksesta. Sykkeen ja sykevälivaihtelumuuttujien palautuminen alkutilanteeseen kesti yli 30 minuuttia.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Health Sciences

School of Medicine

Exercise medicine

KIRJAVAINEN, JUSSI: Elderly Firefighters' Physical Stress During a Simulated Rescue Exercise and Subsequent Recovery

Thesis, 88 pages, 3 appendices (4 pages)

Supervisors: Katriina Kukkonen-Harjula M.D. ass. prof., Anne Punakallio Ph.D.

March 2012

Keywords: Recovery, physical workload, smoke diving, heart rate variability

Rising firefighters' pension age has presented the challenge of keeping aging firefighters in good physical shape for rescue missions for as long as possible. The aim of this research was to investigate how much strain elderly firefighters are subjected to when undertaking a job-related rescue drill and how they recover after the test.

Thirteen firemen from Southern Finland participated in the study. One test measurement had to be disqualified because of an unacceptably large margin of error. The final research group's (N=12) background data were following: Age 48 years \pm 5 years, height 178 cm \pm 6 cm, weight 83 kg \pm 6 kg, BMI 26.4 \pm 1,3kg/m² and VO₂max 41.7 \pm 3.7 ml/kg/min. The test, which simulates firemen's smoke diving, consisted of five tasks. The tasks were all limited by time. The tests were all done during one day in an empty vehicle depot in the Haaga fire station in Helsinki. Throughout the test, the heart rate, split time and perceived exertion (RPE) on Borg's scale were recorded.

The heart rate measurements were done with a Suunto T6 -wristwatch computer. The heart rate measurement began with a 10-minute rest period in the sitting position. After this the measurements were continued with the actual exercise tasks. Blood pressure was measured within one minute, three minutes and five minutes after the test was finished. After the measurements were made the data were uploaded from the wrist watch to the data analysis software.

The subjects' mean circulatory strain during the smoke diving exercise was 85 (range 81–92) %HRmax, which equals very strenuous strain. The highest stress level a subject had (RPE 18) during the exercise was noted during a task which involved crawling. The result equals very strenuous subjective exertion. The highest EPOC (excess post-exercise oxygen consumption) values peaked at an average of 80 (ml/kg) during the exercise, which is the equivalent of strenuous exercise. The subjects' heart rate was still significantly higher than normal 30 minutes after the test (p=0.02) compared to the pre test measurements. Heart rate variability (RMSSD p=0.005, SD p=0.004, HFln p=0.06) did not recover to the pre test levels in 30 minutes.

The study indicated that a simulated smoke diving exercise (without smoke) strained elderly firemen equaling very strenuous circulatory strain. The subjects also took a long time to recover from this. Heart rate and heart rate variability took on average over thirty minutes to recover.

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO.....	6
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	7
2.1 Pelastustoimi	7
2.1.1 Pelastustoimen tehtävät	8
2.1.2 Pelastustyö.....	10
2.1.3 Savusukellus.....	10
2.1.4 Savusukeltajan perusvarustus.....	11
2.2 Savusukelluksen fyysinen kuormittavuus ja sen arviointi	12
2.2.1 Savusukelluksen fyysinen kuormittavuus	12
2.2.2 Sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittuminen	13
2.2.3 Tuki- ja liikuntaelimistön kuormittuminen	14
2.2.4 Lämpökuormitus	15
2.2.5 Suojavarustuksen aiheuttama lisäkuorma	15
2.2.6 Suojavarustuksen vaikutus ketteryyteen ja tasapainoon	16
2.2.7 Työn fyysisen kuormittavuuden arviointi	17
2.2.8 EPOC (lepotason ylittävä hapenkulutuksen määrä).....	18
2.2.9 Savusukellusta jäljittelevä testirata	20
2.2.10 Pelastussukelluksen fyysiset vaatimukset ja sen testaaminen.....	21
2.3 Autonominen hermosto ja sykevälivaihtelu.....	23
2.3.1 Autonominen hermosto	23
2.3.2 Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto.....	24
2.3.3 Sykevälivaihtelu	25
2.3.4 Sykevälivaihtelun mittaaminen ja analysointi.....	27
2.3.5 Aikakenttäanalyysi	27
2.3.6 Taajuuskenttäanalyysi	28
2.3.7 Paluukuvaus	30
2.3.8 Approksimatiivinen entropia ja DFA (detrended fluctuation analysis)	30
2.4 Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät.....	31
2.4.1 Sympaattisen ja parasympaattinen hermosto	31
2.4.2 Vuorokaudenaika	31
2.4.3 Ikä ja sukupuoli	32

2.4.4 Fyysinen kuormitus	33
2.4.5 Kuormituksen jälkeinen sykevälivaihtelu	34
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	36
3.1 Tutkimuskysymykset	36
3.2 Hypoteesit	36
4 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	37
4.1 Aineiston keruu	37
4.2 Tutkittavat	39
4.3 Tutkimuksen kulku	39
4.3.1 Savusukellustestirata ja varustus	40
4.3.2 Mittaukset ennen testirataa, sen aikana ja jälkeen.....	42
4.4 Analyysit	43
4.4.1 Sykevaihtelumuuttujien analysointi	44
4.4.2 Tilastolliset analyysit.....	45
5 TULOKSET	46
5.1 Savusukellustestiradalla kuormittuminen	46
5.2 Kuormituksesta palautuminen savusukellustestiradan jälkeen	48
5.3 Muita tuloksia	54
6 POHDINTA.....	60
6.1 Savusukellustestiradalla kuormittuminen	60
6.2 Palautuminen savusukellustestiradan jälkeen	63
6.3 Tutkimuksen arviointi.....	65
6.4 Jatkotutkimusaiheita	67
6.5 Johtopäätökset.....	68
LÄHTEET	69
LIITTEET	85

1 JOHDANTO

Palomiesten työtehtävät ovat hyvin moninaisia ja vaativat sopeutumista mitä erilaisimpiin tilanteisiin. Ajoittain pelastustoiminnassa altistutaan raskaille työkuormille (Bos, Mol, Visser & Fings-Dresen 2004), joista fyysisesti kaikkein raskaimmaksi palomiehet kokevat savusukelluksen (Lusa 1994, 54). Eläkejärjestelmän uudistuksien myötä vuonna 2005 kunta-alalla työskentelevät voivat itse päättää eläkkeellejäämisajankohtansa 63–68 ikävuoden väliltä (Saari 2010, 62). Kunnallisen eläkevakuutuksen tilastojen mukaan vuonna 1998–2007 pelastusosalta jäätin työkyvyttömyyseläkkeelle keskimäärin 49,6-vuotiaana (yhteensä 356 henkilöä). Yleisimmät syyt olivat tuki- ja liikuntaelinten sairaudet (44 %), mielen-terveyden häiriöt (14 %) ja verenkiertoelinten sairaudet (14 %). Palomiesten vanhuuseläkkeelle jäämisen keski-ikä vuonna 1998–2007 oli 57,9 vuotta. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 34)

Eläkejärjestelmän uudistus asettaa omat haasteensa pelastusosalle. Sisäasiainministeriön julkaisemassa pelastuslaitosten ja -henkilöstön toimintakykyhankkeessa todetaan, että palomiehet pysyisivät pelastussukelluskelpoisina 55 ikävuoteen saakka, jonka jälkeen hyödynnettäisiin ne tehtävät, joissa henkilöstö pystyy myös ikääntyessään toimimaan. Vuonna 2009 pelastustoimintaan osallistuvista yli 50-vuotiaista palomiehistä pelastussukelluskelpoisia oli vain 43,8 prosenttia (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 15, 46).

Vuoden 2011 aikana pelastuslaitoksilla on otettu käyttöön pelastajien sähköinen fyysisen toimintakyvyn arviointi- sekä palautteenanto- ja seurantajärjestelmä FireFit (Lusa, Wickström, Punakallio, Lindholm & Luukkonen 2010). Seurantajärjestelmän avulla pystytään aiempaa tarkemmin seuraamaan palomiesten kunnon kehitystä ja antamaan täsmällisempiä harjoitusohjelmia. Kaiken kaikkiaan ikääntyvien palomiesten pitäminen pelastussukelluskelpoisina 55 ikävuoteen saakka on iso haaste pelastusosalle. Tämän vuoksi kaikki tutkimuksista saatu tieto ja sen soveltaminen käytäntöön sekä palomiesten kannustaminen riittävään fyysiseen harjoitteluun läpi työuran on äärimmäisen tärkeää.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Pelastustoimi

Pelastustoimella tarkoitetaan Suomessa tulipalojen ja muiden onnettomuuksien ehkäisyä sekä pelastustoimintaa ja väestönsuojelua. Pelastustoiminnalla tarkoitetaan kiireellisesti suoritettavia toimenpiteitä ihmisten, omaisuuden ja ympäristön suojaamiseksi ja pelastamiseksi, vahinkojen rajoittamiseksi ja seurausten lieventämiseksi onnettomuuksien sattuessa tai uhatessa. (Pelastuslaki 2003)

Suomen pelastustoimi koostuu päätoimisista palomiehistä (päällystö, alipäällystö ja miehistö) ja muusta henkilöstöstä, jota ovat pääasiassa sopimuspalokuntalaiset. Ympäri vuorokauden päivystäviä päätoimisia paloasemia on Suomessa 90 ja osan aikaa päivystäviä päätoimisia asemia on 47 kpl. Sopimuspalokuntien miehittämällä asemilla (880 kpl) ei päivystystoimintaa ole lainkaan. Pelastustoimintaan osallistuvaa päätoimista henkilöstöä oli Suomessa vuonna 2009 yhteensä 3992 henkilöä. Sopimuspalokuntalaisia, jotka kuuluvat hälytysosastoihin, oli vastaavasti noin 14 000. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 7)

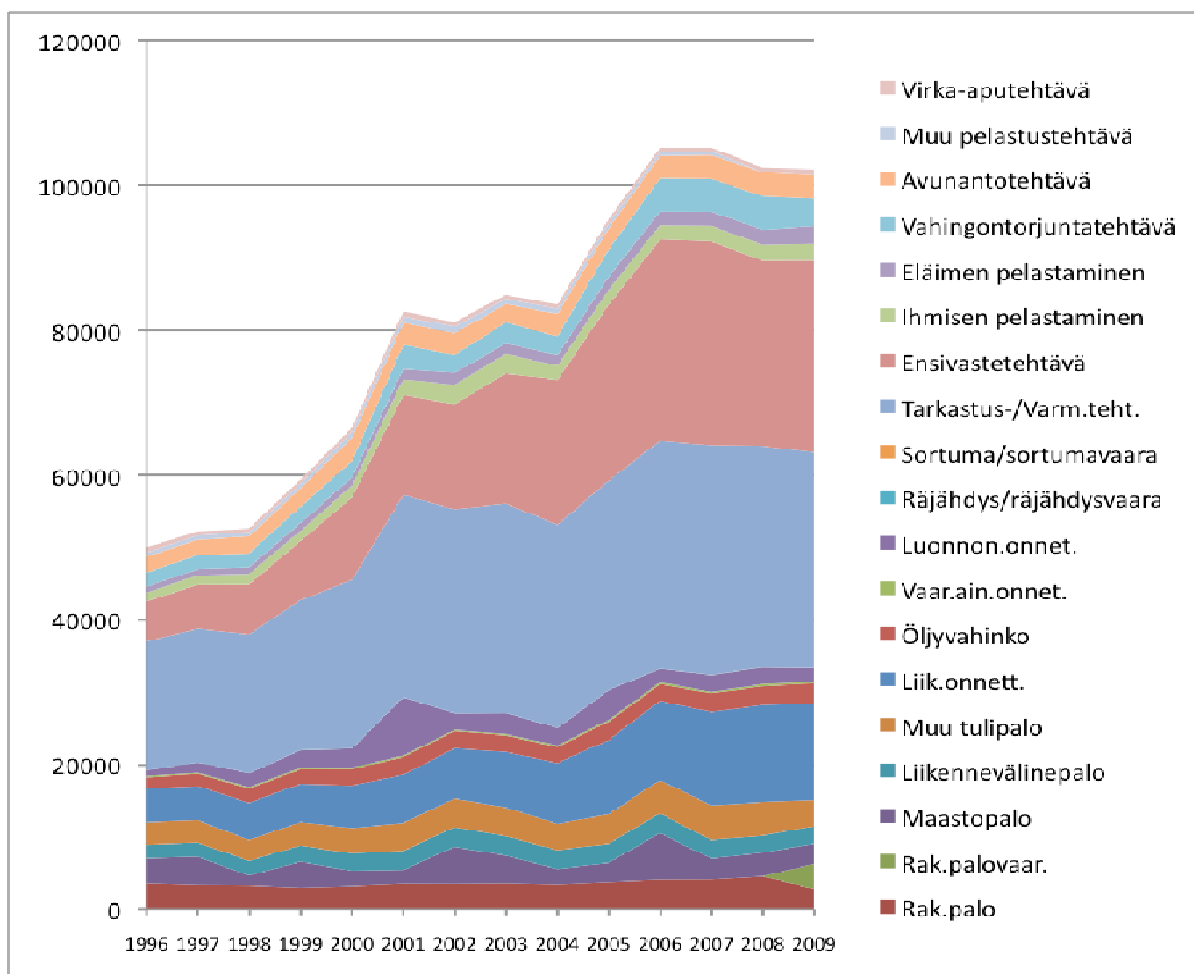
Ympäri vuorokauden päivystävillä paloasemilla on jatkuvasti vähintään yksi 1+3 hengen vahvuinen savusukelluskykyinen yksikkö lähtövalmiudessa (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 7). Yksikkö koostuu johtajasta, kuljettajasta ja vähintään yhdestä työparista (Toimintavalmiusohje 2003, 4). Päivystävän yksikön koon (1+3) määrittelevät käytössä olevat pelastusmenetelmät tulipalojen osalta. Tulipalojen sammutusmenetelmänä käytetään pienpisaratekniikkaa, joka edellyttää palomiehiltä savusukellusta. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 10) Pienpisaratekniikaksi kutsutaan sammutusmenetelmää, jossa savunpatjaa jäähdytetään katkonaisella pienpisaraisella sumusuihkulla (Hyttinen, Tolonen & Väisänen 2007, 170). Savusukelluksella tarkoitetaan paineilmahengityslaitteiden avulla tehtävää sammutus- ja pelastustyötä, joka edellyttää tunkeutumista palavaan ja rajattuun sisätilaan, jossa on savua (Pelastussukellusohje 2007, 2). Pelastusmenetelmistä johtuen kaikkien valmiudessa olevien yksikön 4 jäsenen on oltava savusukelluskelpoisia (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 7).

2.1.1 Pelastustoimen tehtävät

Pelastustoimen tehtävät koostuvat pääasiassa pelastus-, ensivaste- ja ensihoitotehtävistä. Paloasemat, joissa on päätoiminen miehitys, tekevät myös ensihoitotehtäviä eli niissä on ambulanssivalmius ja sairaankuljetusta. Ensihoito- ja ensivastetehtävät kuuluvat sosiaali- ja terveystoimelle, mutta näitä tehtäviä hoitavat myös pelastuslaitokset erillisten sopimusten perusteella. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 7, 8) Hyvän hälytysvalmiuden vuoksi pelastuslaitosten yksiköt ovat usein ensimmäisenä onnettomuuspaikalla ja tästä johtuen valmiina pelastettavien henkilöiden ensimmäisiin hoitotehtäviin. Yksikköä, joka tavoittaa hätätilapotilaan ensin, kutsutaan ensivasteyksiköksi. (Myllyniemi 2000) Sotilaispolkukuntien henkilökunta toimii pelastus- ja ensivastetehtävissä, mutta ei osallistu ensihoitotehtäviin. Ensihoito- ja ensivastetehtävät muodostavat n. 84 prosenttia pelastuslaitosten kokonaistehtävämäärästä, loput n. 16 prosenttia muodostuvat pelastuslain mukaisista pelastustehtävistä. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 8)

Vuosien 2004–2007 aikana ensihoito- ja sairaankuljetustehtäviä oli Suomessa yhteensä 1 421 135 kpl (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 8). Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto PRONTON mukaan koko Suomessa eri pelastustoimen tehtäviä vuonna 2009 oli yhteensä 102 256 kpl, jotka sisälsivät mm. tarkastus- ja varmistustehtäviä 29 706 kpl (29 %), ensivastetehtäviä 26 546 kpl (25,9 %), liikenneonnettomuuksia 13 364 kpl (13 %), tulipaloja 11 555 kpl (11,3 %) (joista rakennuspaloja yhteensä 2739 kpl, 2,6 %), eläinten pelastustehtäviä 2448 kpl (2,4 %) ja ihmisen pelastamistehtäviä 2281 (2,2 %). Pelastustoimen tehtävä määrä on yli kaksinkertaistunut vuosien 1996 ja 2009 välisenä aikana, kun mukaan lasketaan pelastustoimen hoitamat ensivastetehtävät. Myös tarkastus- ja varmistustehtävät, jotka muodostuvat lähinnä paloilmoittimista, palovaroittimista tai sammutuslaitteistoista tulevista hälytyksistä, ovat lähes kaksinkertaistuneet vuodesta 1996 vuoteen 2009. Liikenneonnettomuuksien tehtävämäärä on lähes kolminkertaistunut samana ajanjaksona (taulukko 1). (Pelastustoimen resurssi- ja toimenpidetilasto PRONTO 2010)

Taulukko 1. Pelastustoimen tehtävät (kpl) vuosina 1996 - 2009 (J. Ketola, henkilökohtainen tiedonanto 20.12.2010).



Kaikista pelastustehtävistä vuonna 2009 epäsuorasti tulipaloihin liittyivät lähes kaikki tarkastus- ja varmistustehtävät sekä rakennuspalovaarat, jotka muodostivat yhteensä 32,4 prosenttia kaikista pelastustehtävistä. Kun tähän lasketaan mukaan kaikki tulipalotyypit (rakennuspalot, maastopalot, liikennevälinepalot ja muut tulipalot), jotka muodostivat 11,3 prosenttia kaikista pelastustehtävistä, niin tulipalot käsittävät joko suoraan tai epäsuorasti 43,7 prosenttia palokuntien kaikista pelastustehtävistä. Tehtävien kokonaismäärä sisältää kaikki tehtävät, joihin pelastustoimi on osallistunut, myös ne, jotka eivät ole tulleet hätäkeskuksen kautta. Taulukkoon 1 ei ole merkitty tehtäviä, joiden tieto puuttuu, näitä tehtäviä oli vuonna 2009 yhteensä 107 kpl.

2.1.2 Pelastustyö

Viimeisten vuosikymmenten aikana palomiehen työtehtävät ovat muuttuneet paljon. Tehtäväkuvan laajeneminen alkoi 1970-luvulla, jolloin palo- ja pelastustoimilaki määritteli pelastustoimen palotoimen hoidettavaksi. Palomiehen työnkuvaan liittyy tulipalon sammutustehtävien sekä sairaankuljetus- ja ensihoitotehtävien lisäksi laajalti myös muita pelastustehtäviä eläinten pelastamisesta suuronnettomuuksiin. Edellä mainittujen lisäksi tehtäviin kuuluvat hälytysajoneuvon kuljetus, huoltotehtävät ja erilaiset raivaustyöt sekä ennaltaehkäisevä palontorjuntatyö, kuten palontarkastukset ja valistustoiminta. Osa palomiehistä toimii myös vesisukellus-, pintapelastus- ja veneenkuljetustehtävissä. (Lindholm ym. 2009, 7)

Palomiehen työvuoro kestää yleensä 24 tuntia (Lindholm ym. 2009, 7). Pelastustehtävien ollessa moninaisia tarvitsee palomiehen sopeutua hyvin erilaisiin ja muuttuviin työtilanteisiin. Palo- ja pelastustilanteiden vaarallisuus, ennalta-arvaamattomuus sekä vaatimus nopeisiin ratkaisuihin ja tehokkaaseen toimintaan asettavat suuria vaatimuksia psyykkiselle toimintakyvyille (Fullerton, McCarrol, Ursano & Wright 1992). Oman turvallisuutensa lisäksi palomiehet ovat vastuussa myös pelastettavien turvallisuudesta (Elsner & Kolkhorst 2008).

2.1.3 Savusukellus

Savusukelluksella tarkoitetaan paineilmahengityslaitteiden ja asianmukaisten suojavarusteiden avulla tehtävää sammutus- ja pelastustyötä, joka edellyttää tunkeutumista palavaan ja rajattuun sisätilaan, jossa on savua. Savusukellus toteutetaan yleensä pareittain tai suurempina muodostelmina. Savusukellustehtävä voidaan aloittaa turvallisesti, jos pelastusyksikössä on vähintään neljä savusukelluskelpoista henkilöä. (Pelastussukellusohje 2007, 2, 14)

Savusukellusta pelastusyksikkö saattaa joutua tekemään rakennuspaloissa, muissa tulipaloissa, vaarallisten aineiden aiheuttamissa onnettomuuksissa, räjähdyksissä tai räjähdysvaaratilanteissa, ihmisten pelastustehtävissä ja muissa pelastustehtävissä (Sisäasiainministeriön julkaisuja 32/2008, 17).

Savusukellukseen lähdetessä on paineilmahengityslaitteessa oltava paineilmaa vähintään 1500 litraa. Kun sukellus on kestänyt 15 minuuttia, on sukelluksen valvojan ilmoitettava siitä radiopuhelimella työparille. Savusukeltajan on myös itse seurattava käytettävissä olevan paineen määrää ja kaikissa tilanteissa varmistuttava siitä, että kohteesta poistumiseen on käytettävissä riittävästi paineilmaa. Savusukelluksen jälkeen suositellaan 20–30 minuutin palautumistaukoa ennen uutta sukellusta. Tällöin on tarpeellista huolehtia riittävästä elimistön jäähtymisestä mm. vähentämällä vaatetusta ja juomalla riittävästi. Koska savusukellusaika on rajallinen, on pelastustilanteissa myös huolehdittava pelastusyksikön täydentymisestä niin, että keskeytyksetön pelastustoiminta on mahdollista. (Pelastussukellusohje 2007, 14) Kannettavien paineilmahengityslaitteiden yhtäjaksoinen käyttöaika raskaassa työssä (75–89 % maksimaalisesta hapenottokyvystä VO_{2max}) on enintään 30 minuuttia (Louhevaara, Smolander, Korhonen & Tuomi 1986). Lepoajan tulisi olla 60 minuuttia ja paineilmahengityslaitteiden käyttökertojen lukumäärä 8 tunnin työvuoron aikana enintään neljä (Lindholm ym. 2009, 83).

2.1.4 Savusukeltajan perusvarustus

Savusukeltajan perusvarustukseen kuuluvat eurooppalaisten standardien mukaiset varusteet: palopuku (EN 469), palokypärä (EN 443), kypärän alushuppu (EN 13911), palokäsineet (EN 659), palojalkineet (EN ISO 20344:2004, EN ISO 20345:2004 sekä EN 15090:2006) ja paineilmahengityslaitte (EN 136, EN 137). Paloasun lisäksi varustukseen kuuluvat puukko, letkunkannatin ja valaisin. (Pelastussukellusohje 2007, 12, 37) Savusukeltajan perusvarustus painaa ilman paineilmahengityslaitteita 10–12 kg. Paineilmahengityslaitteet lisäävät painoa 8–15 kg. (Lindholm ym. 2009, 27) Tämän lisäksi savusukeltajalla on usein tehtävästä riippuen mukanaan myös muuta varustusta (esim. kir-

ves), jotta liikkuminen ja poistuminen pelastusalueelta ovat mahdollisimman turvallisia (Pelastussukellusohje 2007, 12).

2.2 Savusukelluksen fyysinen kuormittavuus ja sen arviointi

Pelastajan työtehtävien erilaisuudesta johtuen myös työhön liittyvä fyysinen kuormittuminen vaihtelee suuresti. Savusukellustehtävät kuormittavat eniten hengitys- ja verenkiertoelimistöä (Lusa 1994, 53), raivaustehtävät tuki- ja liikuntaelimiä ja katoilla tai korkealla työskentely vaatii eniten motorisia taitoja (Punakallio & Lusa 2011). Kokonaiskuormitukseltaan raskaimmaksi työtehtäväksi pelastajat kokevat savusukelluksen (Lusa, Louhevaara & Kinnunen 1994). Palomiesten toimiessa myös ensihoitotehtävissä kokevat he ensihoitotyön raskaimmaksi tehtäväksi potilaan ja hoitovälineiden nostamisen ja kantamisen (Vehmasvaara 2004).

2.2.1 Savusukelluksen fyysinen kuormittavuus

Palo- ja pelastustyölle on hyvin luonteenomaista sekä aerobisen että anaerobisen aineenvaihdunnan kuormittuminen, mikä vaatii palomiehiltä hyvää fyysistä suorituskkyä (Sheaff ym. 2010). Palo- ja pelastustyön edellyttämiä fyysisiä vaatimuksia on tutkittu yksittäisissä verenkiertoelimistön huippukuormitustilanteissa tai jäljittelemällä tällaisia tehtäviä, kuten savusukellusta (taulukko 2). Ajoittaiset huippukuormitustilanteet voivat merkittävästi lisätä sydämen sykettä ja verenpainetta, aiheuttaa väsymystä ja ylikuormitumista sekä heikentää kognitiivista suorituskkyä. Huippukuormitustilanteita arvioitaessa on otettava huomioon myös henkilön suojarustuksen ja poikkeavien lämpötilojen aiheuttama lisäkuorma, mikä voi lisätä elimistön kuormitustilaa ratkaisevasti. (Lindholm ym. 2009, 13; Holmer & Gavhed 2007) Myös vuorotyö ja poikkeavat ulkoiset olosuhteet, kuten kuumuus voivat huomattavasti lisätä verenkiertoelimistön kuormittumista (Lindholm, Sala & Mattila, 2004, 40).

Savusukelluksen fyysistä kuormittavuutta on tutkittu mm. simuloidussa pelastustehtävässä laivatulipalossa. Tutkimukseen osallistui 35 palomiesoppilasta, jotka olivat 19–27-vuotiaita. Tehtävä kesti keskimäärin 17 minuuttia ja keuhkotuuletus (ventilaatio) oli keskimäärin 54 l/min, minkä perusteella arvioitu hapenkulutus oli 2,4 l/min (60 % mitatusta maksimaalisesta hapenkulutuksesta). Keskimääräinen sydämen syke oli 150 lyöntiä/min (79 % mitatusta maksimaalisesta sykkeestä). (Lusa ym. 1993) Taulukkoon 2 on kerätty tutkimustuloksia, joissa on mitattu palomiesten kuormittumista erilaisissa palomiehen töitä simuloivilla testiradoilla tai yksittäisissä tehtävissä.

Taulukko 2. Palomiesten kuormittuminen (hapenkulutus, VO₂) erilaisilla töitä simuloivilla testiradoilla tai yksittäisissä työtehtävissä.

Tutkijat	Maa	N	Ikä (ka)	Tehtäviä (kpl)	Radan/tehtävien kesto (min)	VO ₂ (ml/kg/min) (ka)
Glendhill & Jamnik (1992)	USA	2-12*	30	27	0,17-4	23
Holmér & Gavhed (2007)	Ruotsi	15* (m)	35	11	22,17	34
Elsner & Kolkhorst (2008)	USA	20* (m)	37	10	11,65 (ka)	29
Williams-Bell ym. (2009)	Kanada	57	24	8	<10,20	38
Williams-Bell ym. (2010)	Kanada	(34m/23n)	41	2 ¹	10,22 (ka)	38
Perroni ym. (2010)	Italia	36 (33m/3n) 20*	32	4	1,22-7,18	36

N=tutkittavien määrä, *=ammattipalomiehiä tai -naisia, m=mies, n=nainen, ka=keskiarvo, VO₂=hapenkulutus, ¹=portaiden nousu ja laskeutuminen (23 kerrosta) kantaen 18 kg painavaa letkupakkausta

2.2.2 Sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittuminen

Savusukelluksen keskimääräiseksi hapenkulutukseksi on työtä simuloivilla testiradoilla mitattu 2,5–2,8 l/min. Yksittäisissä tehtävissä hapenkulutus vaihtelee arvojen 1,7–4,3 l/min välillä (Lindholm ym. 2009, 14). Punakallion ym. tekemässä tutkimuksessa savusukellus (testiradalla) vastasi prosentuaalisena osuutena mitatusta sydämen maksimaalisesta sykkeestä (% HRmax) ilmaistuna keskimääräiseltä kuormitukseltaan korkeaa (65–84 % HRmax) tai hyvin korkeaa kuormittumista (85–94 % HRmax) (Punakallio ym. 1997a, 29). Suomessa savusukeltavan palomiehen maksimaalisen hapenkulutuksen minimitasoksi suositellaan 3 l/min ja painoon suhteutettuna 36 ml/kg/min (Pelastussukellusohje 2007, 30).

Erilaisissa palomiehille tyypillisissä yksittäisissä tehtävissä sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumisen vaihteluvälit ovat hyvinkin suuria (taulukko 2) vaihdellen arvojen 17 ml/kg/min (tikkaiden nosto) ja 44 ml/kg/min (tavaroiden kanto portaissa) välillä (Gledhill & Jamnik 1992). Holmérin & Gavhedin (2007) tutkimuksessa sydämen ja verenkiertoelimistön huippukuormitukset nousivat jopa yli arvon 55 ml/kg/min (portaiden nousu kolme kerrosta taakkoja kantaen).

2.2.3 Tuki- ja liikuntaelimistön kuormittuminen

Palomiehen työ kuormittaa sydämen ja verenkiertoelimistön lisäksi voimakkaasti tuki- ja liikuntaelimiä (Louhevaara & Smolander 1997). Tämä asettaa oman haasteensa pitää palomiehet työkykyisinä, sillä palomiesten lihasvoiman on todettu heikkenevän merkitsevästi iän myötä (Punakallio ym. 1997b, 49). Tuki- ja liikuntaelimistön kuormittumista on tutkittu kuitenkin hyvin vähän savusukellustilanteissa. Työterveyslaitoksen ja Palosuojelurahaston raportissa (2009) esiteltiin tuki- ja liikuntaelimistön kuormittumista savusukellusta ja raivausta jäljittelevässä työssä 35 °C:n lämpötilassa kertasuoritteisessa ja toistosuoritteisessa työssä. Molemmilla työtavoilla työskenneltäessä lihasten keskimääräinen kuormittuneisuus ylitti selvästi työssä sallitun tason (14 % MVC, maximal voluntary contraction eli lihaksen tahdonalainen supistuminen). Voimantuottonopeus väheni toistosuoritteisen työn loputtua eikä se ehtinyt palautua 30 tunnin seurantajakson aikana. (Oksa ym. 2009)

Lihaksen palautumista mitattiin ns. pennaatiokulman avulla. Pennaatiokulma on koko lihaksen päällimmäisen kalvon ja yksittäisten lihassäikeiden kalvojen välinen kulma. Mitä suurempi kulma on, sitä isompi on lihaksen poikkipinta-ala ja kyky tuottaa voimaa. Kertasuoritteisen työn jälkeen pennaatiokulma ei ehtinyt palautua 4 tunnissa, toistosuoritteisesta työstä palautuminen kesti peräti 30 tuntia. Lihaksiston palautumiseen olivat selvästi yhteydessä tutkittavien ikä ja työkokemus. Nuoremmat ja lyhyemmän työkokemuksen omaavat palomiehet palautuivat kuormituksesta vanhempia nopeammin. (Oksa ym. 2009)

Toisessa palomiesten raivaustehtävää simuloivassa tutkimuksessa tutkittiin (N=13) biomekaanista kuormittavuutta moottorisahatehtävässä, jossa moottorisahalla piti aukaista sisä-

katto. Moottorisaha painoi 9 kg ja sitä nostettaessa alaselkään (L5–S1) kohdistuva dynaaminen kompressiovoima oli keskimäärin 6228 N. Kompressiovoimissa ei ollut eroa vanhempien ja nuorempien palomiesten välillä. Viidellä palomiehellä selän staattinen kompressiovoima ylitti 3400 N:n enimmäissuositusrajan, jonka jälkeen selän vammautumiskasvaa selvästi. (Lusa ym. 1991)

2.2.4 Lämpökuormitus

Pelastajat altistuvat lähes kaikissa työtehtävissään jonkinasteiselle lämpökuormitukselle, koska suojavaatteen monet vaatekerrokset estävät hien höyrystymisen ja lämmönluovutuksen (Lusa-Moser ym. 1997, 6). Tästä johtuen myös elimistön lämpötila, sydämen syke ja verenpaine nousevat voimakkaasti (Baker, Grice, Roby & Matthews 2000; Richardson & Capra 2001). Savusukellustehtävissä elimistön lämmöntuotanto on noin 385–550 W/m². Koska varustus ja ympäristö estävät tehokkaan lämmönluovutuksen, elimistön lämpötila nousee nopeasti terveyden kannalta haitallisen suureksi, mikä heikentää toiminta- ja työkykyä. Jos elimistöön varastoituu ylimääräistä lämpöä 58 W/m², nousee sisäelinten lämpötila noin yhdellä asteella. (Lindholm ym. 2009, 18)

Savusukellusta simuloivan Oulun mallin testiradan (ks. 4.3.1) aikana rektaalilämpötilan on havaittu nousevan 0,4–0,8 °C. (Lindholm ym. 2009, 19) Pidempikestoisessa harjoituksessa (60 min), joka tehtiin juoksumatolla (6 km/h) palomiehen suojavaatteissa, rektaalilämpötila nousi 38,3 °C:seen (Baker ym. 2000). Suojavaatteissa sekä paineilmalaitteiden kanssa tehdyssä tutkimuksessa rektaalilämpötila nousi jopa 39 °C:seen (Selkirik & McLellan 2004). Rektaalilämpötilan noustessa > 39 °C:n on se lämpöön tottumattomalla ihmisellä terveyden kannalta vaarallista (Ilmarinen 2005, 223).

2.2.5 Suojavarustuksen aiheuttama lisäkuorma

Vaikka palomiesten suojavarustus on kehittynyt, lisää se silti edelleen merkittävästi palomiehen kuormitusta pelastustilanteissa (Selkirik & McLellan 2004; Louhevaara, Smolan-

der, Tuomi, Korhonen & Jaakkola 1985b). Suojavaatetus ja paineilmahengityslaitte painavat keskimäärin n. 22–25 kg (Dreger, Jones & Petersen 2006; Louhevaara ym. 1994). Sammutusvarustuksen paino kuormittaa n. 40 % enemmän kuin kevyen urheiluasun paino. Monesta vaatekerroksesta koostuvan vaatetuksen liikevastus lisääntyy jopa 50 % yksikerrosvaatetukseen verrattuna. Monikerrosvaatetuksen hapenkulutusta lisäävä vaikutus voi olla jopa yli 10 % kevyempään vaatetukseen verrattuna. (Lindholm ym. 2009, 27) Suojavarustus yhdessä paineilmahengityslaitteen kanssa lisää hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormitusta 20 % (Louhevaara, Tuomi, Korhonen & Jaakkola 1984) ja lyhentää työskenteleäikää jopa 25 % (Louhevaara, Ilmarinen, Griefahn, Künemund & Mäkinen 1995).

Paineilmahengityslaitteen käyttö lisää submaksimaalisessa rasituksessa hapenkulutusta, keuhkotuuletusta ja sydämen sykettä. Maksimaalisessa suorituksessa paineilmahengityslaitte vähentää maksimaalista hapenottokykyä jopa 18 prosenttia. Negatiivinen vaikutus maksimaalisessa suorituksessa johtuu pienemmästä keuhkotuuletuksesta ja kertahengitystilavuudesta (tidal volume), jotka selittyvät mm. paineilmahengityslaitteen aiheuttamasta hengitysvastuksesta. (Dreger ym. 2006) Paineilmalaitteen kasvo-osa rajoittaa myös näkökenttää ja vaikuttaa täten myös asennon ja tasapainon säätelyyn (Punakallio, Lusa & Luukkonen 2003).

2.2.6 Suojavarustuksen vaikutus ketteryyteen ja tasapainoon

Palomiehet joutuvat työssään liikkumaan ja työskentelemään hyvinkin vaikeakulkuisissa ja tapaturma-alttiissa paikoissa kuten esimerkiksi erilaisilla katoilla. Tämä vaatii palomiehiltä hyvää kehon ja liikkeen hallintaa. Työterveyslaitos on selvittänyt savusukellusvarustuksen vaikutusta eri-ikäisten palomiesten dynaamiseen tasapainoon ja ketteryyteen. Punakallion ym. (1997a) tutkimukseen osallistui 110 satunnaisotannalla valittua palomiestä kolmesta eri ikäryhmästä (30–34-vuotiaat, 40–44-vuotiaat ja 50–54-vuotiaat). Kustakin ryhmästä valittiin 20 palomiestä tutkimuksiin. Dynaamisen tasapainon testi ja ketteryydestä tehtiin ensin urheiluvarusteissa ja toisella kerralla täydessä savusukellusvarustuksessa.

Dynaamisen tasapainon ja ketteryydestin tulokset olivat heikompia vanhimmissa ikäryhmissä verrattuna nuorempiin niin urheilu- kuin savusukellusvarustuksessa. Kaikissa ikäryhmissä dynaamisen tasapainon testiin käytettiin enemmän aikaa ja siinä tehtiin enemmän virheitä savusukellusvarustuksessa verrattuna urheiluvarustukseen. Merkille pantavaa on se, että nuoremmat (30–34-vuotiaat) selviytyivät dynaamisen tasapainon testistä savusukellusvarustuksessa nopeammin kuin vanhemmat (50–54-vuotiaat) urheiluvarustuksessa. Hyvän maksimaalisen hapenottokyvyn havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä menestymiseen dynaamisen tasapainon testissä sekä ketteryydestissä. Hyvä koettu työkyky työkykyindeksillä arvioituna oli myös yhteydessä parempaan menestymiseen dynaamisen tasapainon testissä sekä ketteryydestissä. (Punakallio ym. 1997a) Vastaavanlaisia tuloksia saivat myös Lusa ym. (1992) tutkiessaan palomiesten liikunnallisia taitoja. Ketteryys- ja koordinaatiotestiradan kiertämiseen kulunut aika piteni iän myötä. Myös hyvä lihaskunto oli selvästi yhteydessä hyvään tulokseen ketteryys- ja koordinaatiotestissä. (Lusa, Tulppo, Tuomi, Kajaste & Louhevaara 1992)

2.2.7 Työn fyysisen kuormittavuuden arviointi

Fyysisesti kuormittavassa työssä työkyvyn säilymisen perusedellytys on riittävä kestävyys- ja lihaskunto. Riittävä kunto tarkoittaa, että työntekijä suoriutuu työssään yksittäisistä kuormitushuipuista eikä keskimäärin kuluta kestävyyskuntonsa voimavaroista yli 50:tä %:a. Ylikuormituksen vaara lisääntyy, jos tyypillisten työpäivien aikana työn aiheuttama energiankulutus on enemmän kuin puolet elimistön maksimaalisesta hapenottokyvystä. Fyysisesti kuormittavaa työtä tekevillä toimintakyvyn heikkenemisen vaara ikääntymisen myötä on 2–3-kertainen verrattuna niihin, jotka tekevät fyysisesti vähemmän kuormittavaa työtä. (Fogelholm ym. 2007, 55)

Palomiehillä on työssään runsaasti tehtäviä, jotka vaativat raskasta dynaamista lihastyötä ja taakkojen käsittelyä ja joita ei ole voitu korvata koneilla. Suuria lihasryhmiä kuormittava raskas dynaaminen lihastyö kuormittaa erityisesti verenkiertoelimistöä. (Louhevaara & Smolander 1997) Kuormittumisen kokeminen riippuu paljon yksilön ominaisuuksista, kuten maksimaalisesta hapenkulutuksesta (Åstrand, Rodahl, Dahl & Strømme 2003, 505). Myös iällä, psyykkisellä suorituskyvillä sekä osaamisella on merkityksensä (Lindström

ym. 2002, 12), unohtamatta hyvää kehon ja liikkeiden hallintaa (Punakallio ym. 2003). Työntekijän fyysistä kuormittumista voidaan kuvata mittaamalla hapenkulutusta, sydämen sykettä, koettuja tuntemuksia (RPE) ja vertaamalla työvaiheiden tuloksia maksimaalisen kuormituskokeen tuloksiin (Åstrand ym. 2003, 506; Borg 1982; Punakallio ym. 1997a).

Työn kuormittavuudelle on annettu raja-arvoja, jotka on ilmaistu hapenkulutuksena (VO_2max) ja sykkeinä (taulukko 3). Hengitys- ja verenkiertoelimistön hyväksyttäväksi kuormittuneisuudeksi kahdeksan tunnin työvuoron aikana suositellaan enintään 30–40 %:n kuormittumista henkilön maksimaalisesta hapenkulutuksesta. (Åstrand ym. 2003, 520, 521) Palomiehillä vastaavia luokituksia on tehty savusukelluksen kuormitusta simuloivilla testeillä, joissa raskas työ on luokiteltu 50–74 % VO_2max (prosenttia maksimaalisesta hapenottokyvystä) tai 75–84 % HRmax (prosenttia maksimisykkeestä), hyvin raskas 75–89 % VO_2max tai 85–94 % HRmax ja erittäin raskas 90–100 % VO_2max tai 95–100 % HRmax . Maksimaaliset työskentelyajat kyseisille työkuormille ovat > 60 minuuttia, 20–30 minuuttia ja 1–10 minuuttia. (Louhevaara ym. 1986)

Taulukko 3. Työn kuormittavuuden luokittelu hapenkulutuksen (VO_2) tai sykkeen perusteella 20–30-vuotiaille Åstrandin ym. (2003) mukaan.

Työn kuormittavuuden luokka	VO_2 (l/min)	Syke (krt/min)
Kevyt	< 0,5	< 90
Kohtalainen	0,5-1,0	90-110
Raskas	1,0-1,5	110-130
Hyvin raskas	1,5-2,0	130-150
Erittäin raskas	> 2,0	150-170

2.2.8 EPOC (lepotason ylittävä hapenkulutuksen määrä)

Fyysinen kuormituksen aikana hapenkulutus kasvaa ja palautuu nopeasti kuormituksen päättyessä. Palautuminen lepotasolle ei tapahdu kuitenkaan hetkessä, vaan vasta useiden minuuttien tai tuntien jälkeen. Tästä lepotason ylittävästä hapenkulutuksen ylimäärästä kuormituksen jälkeen käytetään nimeä EPOC (excess post-exercise oxygen consumption).

(Børsheim & Bahr 2003) EPOC:n avulla voidaan arvioida kuormituksen aiheuttamaa kokonaisrasitusta. Mitä suurempi fyysisen rasituksen teho ja kesto, sitä enemmän elimistö myös kuormittuu ja EPOC suurenee. EPOC suurenee voimakkaammin rasituksen tehon kasvamisen kuin harjoituksen keston pidentymisen vaikutuksesta (taulukko 3). (Borg ym. 2009, 63) EPOC voidaan määrittää hengityskaasuista analysoimalla tai arvioimalla epäsuorasti sydämen sykkeestä ja se ilmaistaan $l \cdot \text{min}^{-1}$ tai $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (White Paper 2007). Sydämen sykkeestä laskettu EPOC korreloi hyvin hengityskaasuista mitatun EPOC:n kanssa (Rusko, Pulkkinen, Saalasti, Hynynen & Kettunen 2003).

EPOC koostuu useista komponenteista, joista yleisimmin käytössä ovat nopea ja hidas komponentti. Nopea komponentti käsittää ensimmäisen tunnin aikaisen EPOC:n, johon vaikuttavat kuormituksen jälkeinen lihasten ja veren happivarastojen täydentyminen, ATP:n ja kreatiinifosfaatin uudelleen muodostuminen, laktaatin poisto lihaksista sekä lisääntynyt kehon lämpötila, verenkierto ja ventilaatio. Myös kuormituksen aikainen happivelka ja sen korjaaminen vaikuttaa EPOC:n nopeaan komponenttiin. Hitaan komponentin (useita tunteja) vaikutusmekanismeja ei tunneta yhtä hyvin. Huomattavan osan tämän vaikutuksesta EPOC:n selittävät triglyseridien ja vapaiden rasvahappojen lisääntynyt määrä veressä sekä energianlähteen muuttuminen hiilihydraateista rasvoiksi. Pienemmän osan katsotaan selittyvän kuormituksen jälkeen lisääntyneellä ventilaatiolla, verenkierrolla ja kehon lämpötilalla, mutta niiden vaikutuksen katsotaan olevan hyvin vähäistä. (Børsheim & Bahr 2003)

Taulukko 4. EPOC:n kertyminen harjoituksen keston ja rasitustason mukaan (Borg ym. 2009, 63)

Rasitustaso	Kesto (min)	Teho (% VO_2max)	EPOC (ml/kg)
Kevyt liikunta	20 – 50	30 – 49	4 – 5
Kohtalainen liikunta	20 – 50	50 – 69	15 – 25
Raskas liikunta	20 – 50	70 – 84	60 – 120
Erittäin raskas liikunta	20 – 50	85 – 94	140 – 320
Maksimaalinen liikunta	10 – 20	95 – 100	120 – 250

2.2.9 Savusukellusta jäljittelevä testirata

Yhteistyössä paloalan ammattilaisten kanssa palomiesten hengitys- ja verenkiertoelimistön testaamiseen on kehitetty polkupyöraergometritestiä ja juoksumattotestiä yksinkertaisempi ja edullisempi savusukellusta jäljittelevä kenttätesti (Soukainen ym. 1992, 33). Testistä käytetään yleisesti nimeä Oulun malli. Savusukellusta jäljittelevä testirata on suunniteltu siten, ettei sen suorittaminen vaadi maksimaalista fyysistä ponnistelua, jos pelastajan hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto on vähintään keskinkertainen. Testirata koostuu viidestä työnomaisesta tehtävästä ja jokaiseen tehtävään on käytettävissä määräaika (taulukko 5). (Pelastussukellusohje 2007, 23) Testiradan kestoksi on rajattu 14,5 minuuttia paineilmapullojen keston vuoksi (Soukainen ym. 1992, 33). Jos testattava suoriutuu tehtävistä määräaika nopeammin, hän käyttää säästyneen ajan palautumiseen seisten kunkin tehtävän lopussa. Testi tehdään savusukeltajan perusvarustuksessa (paitsi lamppu). (Pelastussukellusohje 2007, 23, 24) Tarkemmin tehtävien suorittaminen on kuvattu Menetelmä-osiossa sivulla 41.

Taulukko 5. Savusukellusta jäljittelevän testiradan (Oulun malli) tehtävät ja vakioidut suoritusajat. (Pelastussukellusohje 2007)

Tehtävä	Aika (min)
Käveleminen ilman letkurullia ja niitä kantaen	4
Portaissa liikkuminen	3,5
Kuorma-auton renkaan moukarointi	2
Esteiden alitus ja ylitys	3
Letkun rullaus	2
Kokonaisaika	14,5

2.2.10 Pelastussukelluksen fyysiset vaatimukset ja sen testaaminen

Pelastussukellus on työturvallisuuslain 11 §:ssä mainittua erityistä vaaraa aiheuttavaa työtä, jossa on tapaturman tai sairastumisen vaara. Tällaista työtä saa tehdä vain siihen pätevä ja henkilökohtaisten edellytystensä puolesta työhön soveltuva työntekijä. Pelastussukeltajan terveydentilan tulee olla myös työn vaatimuksiin nähden riittävä ja hänen tulee suorittaa työstään vaarantamatta omaa tai muiden terveyttä tai työturvallisuutta. Tämän vuoksi työnantajan tulee tietää, onko pelastussukeltajalla riittävä fyysinen toimintakyky. Pelastussukellus edellyttää riittävää hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakykyä ja hyvää lihaskuntoa. Pelastajien fyysisen toimintakyvyn arviointia ohjeistaa pelastussukellusohje (Sisäasiainministeriö 2007), jota sovelletaan savu-, kemikaali- ja vesisukellukseen sekä pintapelastukseen. (Pelastussukellusohje 2007, 5, 7, 8) Pelastussukeltajan maksimaalisen hapenkulutuksen sekä lihasvoima- ja kestävyystestien tuloksien on vastattava vähintään kuntoluokkaa ”hyvä”. (Lusa 1994; Pelastussukellusohje 2007, 8)

Palolaitosten antamien tietojen pohjalta vuonna 2009 päätoimisista palomiehistä (alipäällystö/miehistö) pelastussukelluskelpoisia oli 87,6 prosenttia. Yli 50-vuotiaista pelastustoimintaan osallistuvasta palomiehestä (alipäällystö/miehistö) pelastussukelluskelpoisia oli 43,8 prosenttia. Sopimuspalokuntalaisista puolestaan vain n. 35 prosenttia oli pelastussukelluskelpoisia. Tämä johtuu osaltaan siitä, että sopimuspalokuntalaisille ei tehdä systemaattisesti fyysisen toimintakyvyn testejä. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 15, 17)

Pelastussukeltajan toimintakykyä testataan vuosittain niin lihaskunnon kuin hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnon osalta. Hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakyky testataan joko submaksimaalisella polkupyöräergometritestillä tai savusukellustestiradalla. Polkupyöräergometritestissä testattavaa pyritään kuormittamaan korkeintaan 88 %:n tasolle hänen arvioidusta maksimaalisesta sykintätaajuudestaan. Pelastussukelluskelpoisuuden saavuttamiseksi on sykkeen ja poljetun tehon perusteella arvioidun maksimaalisen hapenkulutuksen oltava vähintään 3,0 l/min tai 36 ml/kg/min. (Pelastussukellusohje 2007, 9, 29)

Suomessa käytetyt maksimaalisen hapenkulutuksen raja-arvot ovat saaneet alkunsa Louhevaaran ym. (1985a) tekemästä tutkimuksesta. Samoihin raja-arvoihin ovat päätyneet myös Lusa ym. (1993). Taulukkoon 6 on kerätty tutkimustuloksia, joissa on annettu minimisuosituksia pelastushenkilöstön maksimaaliselle hapenkulutukselle.

Savusukellustestiradassa riittää radan hyväksyttävä läpäisy aikarajojen puitteissa pelastuskelpoisuuden saavuttamiseksi. Lihaskuntotesteissä pelastussukelluskelpoisuuden saamiseksi on yllettävä kuntoluokkaan ”hyvä”. Lihaskuntotestit sisältävät penkkipunnerruksen (45 kg, toistoa/60 s), makuulta istumaan nousun (toistoa/60 s), jalkakyykyn (45 kg, toistoa/60 s) ja käsinkohonnan. Penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä kuntoluokan ”hyvä” minimivaatimus on 18 toistoa/60 s, makuulta istumaan nousussa 29 toistoa/60 s ja käsinkohonnassa viisi suoritusta. (Pelastussukellusohje 2007, 29, 35)

Taulukko 6. Minimisuosituksia pelastushenkilöstön maksimaaliselle hapenkulutukselle.

Tutkijat (vuosi)	Maa	N	Ikä (ka)	Minimisuositukset (VO ₂ max)
Lemon & Hermiston (1977)	Kanada	45*	35	40 ml/kg/min
Louhevaara ym. (1985a)	Suomi	9*	36	3 l/min
O’Connel ym. (1986)	USA	17*	32	39 ml/kg/min
Glendhill & Jamnik (1992)	USA	2-12*	30	45 ml/kg/min
Louhevaara ym. (1994)	Suomi	59*	39	36 ml/kg/min
Bilzon ym. (2001)	Englanti	49 (34m/15n)	26	41 ml/kg/min

N=tutkittavien määrä, * Ammattipalomiehiä tai -naisia, m=mies, n=nainen, ka=keskiarvo, VO₂max=maksimaalinen hapenottookyky

2.3 Autonominen hermosto ja sykevälivaihtelu

2.3.1 Autonominen hermosto

Autonomisen hermoston nimi viittaa hyvin sen toimintaan, sillä siihen emme voi vaikuttaa suoraan tahdon avulla (Niensted, Hänninen, Arstila & Björkqvist 1999, 538). Autonominen hermosto säätelee suurta osaa sisäelimiä toiminnasta, kuten verenkiertoa ja hengitystä, ruuansulatuskanavan ja virtsarakon toimintaa sekä osallistuu lämmönsäätelyyn tarkoituksenaan valmistaa yksilö kohtaamaan jokapäiväisen elämän haasteet. Autonomisen hermoston toiminta on automaattista, säätely hyvin nopeaa ja vaikutus ilmeneekin jo muutaman sekunnin kuluessa. Autonomisen hermoston vaikutuksesta esimerkiksi syke voi nousta normaalista kaksinkertaiseksi muutamassa sekunnissa. (Guyton & Hall 2011, 729)

Keskushermostoon saapuu tietoa eri puolilta sisäelimissä olevista reseptoreista afferentteja (tuovia) hermosyitä myöten. Keskushermosto käsittelee saapuvan tiedon ja ohjaa elimistön toimintaa efferenttien (vieviä) hermosyiden välityksellä. Näiden lisäksi autonomisen hermoston toimintaa säätelevät yksilön vireystilaan vaikuttavat keskukset, erityisesti hypothalamus. Näistä tulevien käskyjen perusteella autonomisen hermoston toiminta virittyy tarkoituksenmukaisella tavalla vireystilan, tunteiden ja tuntemusten mukaisesti. (Laitinen & Hartikainen 2003, 88) Vaikka autonomiseen hermostoon voi vaikuttaa ajatusten ja tunteiden avulla, eivät näiden vaikutusten seuraukset yleensä tule tietoisuuteen. Tämän vuoksi autonomisten toimintojen tietoinen säätely on hyvin vaikeaa. (Bjälle, Haug, Sand, Sjaastad & Toverud 2008, 92)

2.3.2 Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto

Autonominen hermosto koostuu kahdesta osasta, sympaattisesta ja parasympaattisesta järjestelmästä (Soinila & Launes 2006, 503; Laitinen & Hartikainen 2003, 88). Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto poikkeavat toisistaan rakenteeltaan, farmakologisilta ominaisuuksiltaan sekä toiminnaltaan. Niiden vaikutukset ovat pääsääntöisesti myös vastakkaiset ja ne toimivat yleensä eri tilanteissa. Kumpi autonomisen hermoston osa on milloinkin vallitseva, riippuu käskyn suhteellisesta voimakkuudesta kohde-elimissä. Sympaattinen hermosto valmistaa yksilöä toimimaan: sydämen syke ja verenpaine nousee, lihasten verisuonet ja keuhkoputket laajenevat, veren glukoosipitoisuus suurenee, ruuansulatus hidastuu ja suoliston ja virtsateiden sulki-jalihakset supistuvat. Parasympaattinen hermosto puolestaan valmistaa yksilön taas lepoon: vähentämällä energiankulutusta, hidastamalla sykettä ja pienentämällä verenpainetta, supistamalla keuhkoputkia, lisäämällä insuliinin ja ruuansulatusentsyymien erityystä ja veltostuttamalla ruuansulatuskanavan ja virtsateiden sulki-jalihakset. (Laitinen & Hartikainen 2003, 88; Nienstedt ym. 1999, 540)

Sympaattiset ja parasympaattiset hermot koostuvat preganglionaarista ja postganglionaarista hermosyistä sekä niiden välissä olevista hermosolmuista eli ganglioista (Laitinen & Hartikainen 2003, 88). Sympaattinen hermosto muodostaa helminauhamaisen hermorungon selkärangan kummallekin puolelle (Bjälle ym. 2008, 88). Hermorunko muodostuu aksonikimppujen toisiinsa yhdistämistä sympaattisista hermosolmuista, joita on kummallakin puolella yksi kutakin nikamaa kohti. Kaulassa niitä on kuitenkin vain kolme kummallakin puolella ja myös hermorungon alapäässä hermosolmukkeita on vähemmän kuin nikamia. (Nienstedt ym. 1999, 541) Vatsaontelossa, selkärangan etupuolella, on lisäksi kolme sympaattista hermosolmua, joista lähtee sympaattisia hermosyitä useimpiin vatsaontelon elimiin. Sympaattisista ganglioista lähtee hermosyitä kaikkialle elimistössä sijaitseviin kohde-elimiin. Poikkeuksena on lisämunuaisydin, johon tulee suoraan selkäytimestä sympaattisia hermosyitä. Yksittäisistä sympaattisista ganglioista lähtevät hermosyyt kulkeutuvat elimistön eri osiin, joten sympaattisen hermoston vaikutus kohdistuu useisiin kohde-elimiin (Bjälle ym. 2008, 88, 89)

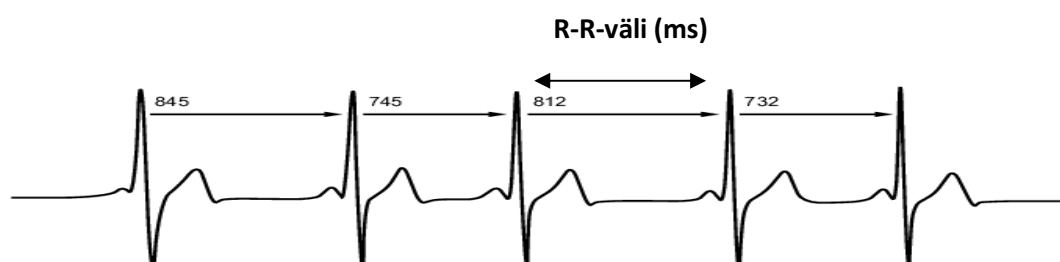
Parasympaattisen hermoston preganglionaariset hermosyyt seuraavat aivo- ja selkäydinhermoja ja päättyvät ganglioihin, jotka sijaitsevat lähellä kohdesoluja, esimerkiksi suolen seinämissä. Niiden välillä ei kuitenkaan ole keskinäisiä poikittaisyhteyksiä. Parasympaattinen hermosto voi siis vaikuttaa vain yhteen kohde-elimeen. Anatomisesti parasympaattinen hermosto jakaantuu kahteen osaan. Kraniaalisen (kallonpuoleinen) osan preganglionaariset syyt kulkevat useissa aivohermoissa, kun taas lantion elimiä hermottavan kaudaalisen ("hännän" puoleinen) osan preganglionaariset syyt kulkevat ristihermojen mukana. (Bjälle ym. 2008, 89; Nienstedt ym. 1999, 543) Sekä parasympaattinen että sympaattinen hermosto hermottavat samoja elimiä. Hermosyiden määrässä on kuitenkin eroja, esimerkiksi parasympaattisia syitä on sydämessä ja verisuonissa vähemmän verrattuna sympaattisiin syihin, kun taas ruuansulatuskanavassa tilanne on päinvastainen. (Nienstedt ym. 1999, 544)

Tärkeimmät autonomisen hermoston välittäjäaineet ovat noradrenaliini ja asetyylikoliini. Asetyylikoliinia vapauttavia hermosoluja kutsutaan kolinergisiksi ja noradrenaliinia vapauttavia hermosoluja adrenergisiksi. Kolinergisiä hermoja ovat kaikki preganglionaariset hermosyyt, parasympaattisen järjestelmän postganglionaariset hermosyyt, hikirauhasia hermottavat sympaattiset postganglionaariset hermosyyt ja sympaattiset vasodilatoivat (verisuonia laajentavat) hermosyyt. Muut sympaattiset postganglionaariset hermosyyt ovat noradrenergisiä. Lisämunuaisydin taas syntetisoi ja vapauttaa verenkiertoon pääasiassa adrenaliinihormonia, joka on sekä kemialliselta rakenteeltaan että fysiologiselta vaikutukseltaan hyvin noradrenaliinin kaltainen. (Bjälle ym. 2008, 89, 90; Laitinen & Hartikainen 2003, 90)

2.3.3 Sykevälivaihtelu

Ilman hermoston ja hormonien vaikutusta sydän löisi noin 100 kertaa minuutissa. Todellisuudessa syke on kuitenkin paljon hitaampi tai nopeampi. Sydämeen tulevat sympaattisten hermosyiden ärsytys sekä lisääntynyt adrenaliinin ja noradrenaliinin vaikutus nopeuttavat sykettä. Parasympaattisen hermoston vaikutus taas on täysin päinvastainen. Sydämen syke riippuu siis parasympaattisen ja sympaattisen hermoston vaikutuksen välisestä suhteesta. (Bjälle ym. 2008, 233, 234)

Sydämen lyöntien välisen ajan vaihtelua kutsutaan sykevälivaihteluksi (Achten & Jeukendrup 2003; Laitio, Scheinin, Kuusela, Mäenpää & Jalonen 2001). Tällä tarkoitetaan EKG:ssa peräkkäisten R-piikkien variaatiota (kuva 1). R-piikki on EKG-signaali, joka havaitaan sydämen kammioiden supistumista kuvaava piikki ja tätä R-piikkien välistä aikaa kutsutaan R-R-intervalliksi. (Task Force 1996)



Kuva 1. Sydämen EKG-signaali, jossa havaittava R-R-väli (ms) (Mukailtu http://www.polar.fi/e_manuals/RS800CX/Polar_RS800CX_user_manual_Suomi/ch11.html#HRV)

Sydämen syke ei ole koskaan täysin säännöllinen, vaan sykkeessä esiintyy jatkuvasti eritaajuisia syklisiä vaihteluita, jotka ovat seurausta autonomisen hermoston välittämästä säätelystä. Tämä neuraalinen yhteys luo pohjan autonomisen hermoston tilan arvioimiseksi sydämen sykevälivaihtelun avulla. (Lewis 2005; Achten & Jeukendrup 2003; Tahvanainen, Laitinen, Kööbi & Hartikainen 2003, 112) Esimerkiksi sisäänhengityksen aikana sykevälivaihtelu pienenee ja uloshengityksen aikana suurenee. Hengityksen tahdissa tapahtuvaa sykevälivaihtelua kutsutaan respiratoriseksi sinusarytmiaksi. (Achten & Jeukendrup 2003) Spontaanin hengityksen aiheuttaman sinusarytmian mittaaminen EKG:sta on helpoin tapa mitata autonomisen hermoston vaikutusta sydämessä (Laitio ym. 2001, 249).

2.3.4 Sykevälivaihtelun mittaaminen ja analysointi

Teknologian kehittyminen on antanut aivan uusia ja tarkempia mahdollisuuksia tutkia sydämen sykkeessä tapahtuvia muutoksia (Laitio ym. 2001). Sykevälivaihtelua tallentamalla on helppo mitata elimistön yleistä stressitilaa ja palautumisen riittävyyttä. Sykevälivaihtelun mittaaminen antaa tietoa esimerkiksi työhön liittyvästä kuormittumisesta ja mittauksista saaduilla tuloksilla voidaan ehkäistä mm. ylikuormituksen vaaraa. (Fogelholm ym. 2007, 69)

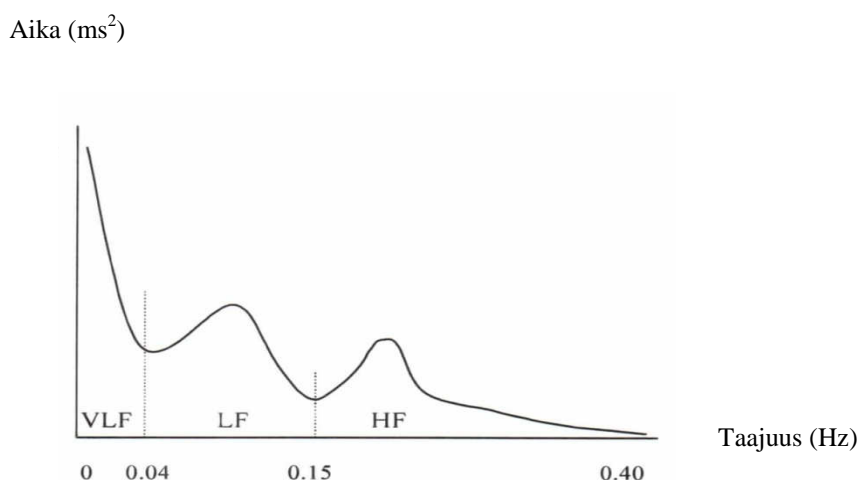
Sykevälivaihtelua voidaan analysoida monella tavalla. Ensimmäisinä käyttöön tulivat aikakenttäanalyysit ja eri taajuuksien spektrianalyysit, joita kutsutaan myös nimellä konventionaaliset lineaariset analyysit. Tämän jälkeen on tullut lukuisa joukko muita matemaattisesti pidemmälle vietyjä menetelmiä, joita kutsutaan yleisesti epälineaariseksi menetelmiksi. (Laitio ym. 2001)

2.3.5 Aikakenttäanalyysi

Aikakenttäanalyysi (time domain -analyysi) on yksinkertainen analyysi RR-intervallijaksoista tai niiden eroista. RR-intervallijaksoista lasketaan yleensä keskiarvo ja keskihajonta. Aikakenttäanalyysit ovat herkkiä häiriöille. Ulkoisista tekijöistä johtuvien mittausvirheiden ja EKG:n häiriöiden poisto ennen analyysiä on ehdoton edellytys luotettaville tuloksille. (Laitio ym. 2001) Sykevälivaihtelua voidaan analysoida laskemalla RMSSD, joka on neliöjuuri perättäisten RR-välien erojen neliösumman keskiarvosta (ms) sekä SD, joka taas on perättäisten RR-intervallien eron keskihajonta (ms). (Borg ym. 2009, 101) SD:n pieneneminen on yhdistetty lisääntyneeseen sydänkuolleisuuteen (Nolan ym. 1998; Task Force 1996) varsinkin erilaisissa sydämen ja verenkiertoelinten sairauksissa kuten sepelvaltimotaudissa ja kohonneessa verenpaineessa (Lombardi 2002).

2.3.6 Taajuuskenttäänalyysi

Taajuuskenttäänalyysi (frequency domain-analyysi) eli spektrianalyysi mittaa sykevaihtelun tehoa eri taajuuksilla ja kykenee aikakenttäänalyysijä paremmin erottamaan parasymptaattisen ja sympaattisen aktivaation aiheuttaman sykevaihtelun toisistaan. Reseptorien ominaisuuksien takia parasymptaattinen aktiivisuus pystyy säätämään sykettä taajuusalueella 0–0,50 Hz, kun taas sympaattisen aktiivisuuden vaikutus sykkeeseen on todettavissa alle 0,10 Hz:n taajuuksilla. (Laitio ym. 2001; Task Force 1996) Sykevaihtelussa voidaan erottaa kolme eri frekvenssialuetta eli VLF, LF ja HF (kuva 2).



Kuva 2. Sykevälivaihtelun taajuudet (Mukailtu Firstbeat Hyvinvointianalyysi, käsikirja 3.1, 2009)

Korkeataajuinen (high frequency, HF) alue on 0,15–0,40 Hz, jolloin syke vaihtelee 2,5–7 sekunnin jaksoissa. HF-alueella näkyy hengityksestä johtuva sinusarytmian vaikutus. (Laitio ym. 2001; Task Force 1996) HF-alueen voimakkain vaikuttaja on parasymptaattisen hermoston aktiivisuus (Laitio ym. 2001; Task Force 1996; Hayano ym. 1991; Mallini, Pagani, Lombardi & Cerutti 1991).

Matalataajuusalueella (low frequency, LF, 0,04–0,15 Hz) sykevaihtelu tapahtuu 7–25 sekunnin jaksoissa. LF-alueella on nähtävissä sekä sympaattisen että parasymptaattisen hermoston aiheuttama sykevaihtelu. LF suurenee sympaattisen aktivaation lisääntyessä ja pie-

nenee parasympaattisen aktivaation vallitessa. Esimerkiksi makuuasennossa LF on lähinnä parasympaattisen kontrollin alainen. (Laitio ym. 2001; Task Force 1996)

Erittäin matalan taajuuden (very low frequency, VLF, 0,0033–0,04 Hz) alue muodostuu 25 sekunnin ja 5 minuutin välillä tapahtuvista muutoksista. VLF-alueen fysiologinen tausta ei ole täysin selvä, mutta sen uskotaan selittyvän reniini-angiotensiini-järjestelmällä, lämmönsäätelyllä ja vasomotoriikalla. (Laitio ym. 2001; Task Force 1996)

Matalataajuusalueen (LF) ja korkeataajuusalueen (HF) suhteen ajatellaan kuvastavan sym-
paattisen ja parasympaattisen hermoston tasapainoa (Achten & Jeukendrup 2003; Task
Force 1996). LF-HF-suhteen normaaliarvona pidetään 1,5–2,0 (Task Force 1996) Yli kah-
den menevä LF-HF-suhde tarkoittaa sympaattisen ja parasympaattisen tasapainon häiriin-
tymistä, jolloin sympaattinen aktivaatio on hallitsevampi. Muutos on havaittavissa varsin-
kin sydäninfarktipotilailla sekä sydänkohtauksen alkuvaiheessa. (Lombardi 2002)

Taulukko 7. Keskeisien sykevälivaihtelumuuttujien normaaliarvoja (Task Force 1996).

Muuttuja	Normaaliarvo (ka±kh)	Yksikkö
SD	141±39	ms
RMSSD	27±12	ms
LF	1170±416	ms ²
HF	975±203	ms ²
LF-HF-suhde	1,5-2,0	

SD=sykevälien keskihajonta, RMSSD=peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu, LF=matalataajuuksinen sykevälivaihtelu, HF=korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu, ka=keskiarvo, kh=keskihajonta

2.3.7 Paluukuvaus

Paluukuvaus (Poincaré plot) on kaksiulotteinen vektorianalyysi, jossa jokainen sykeväli merkitään xy-koordinaatille siten, että vaaka-akselilla on aina edellinen arvo ja y-akselilla sitä seuraava arvo. Näin saaduista pistejoukoista tehdään visuaalinen analyysi. Tuloksena saadaan siis yksi suuri pistejoukko, joka kätkee alleen hyvin monimuotoisia pistejoukkoja. Terveellä ihmisellä tyypillinen pistejoukko on komeetan mallinen. Pistejoukolle voidaan tehdä myös kvantitatiivinen analyysi, jolloin pistejoukon päälle asetetaan kohtisuoraan toisiaan vasten kaksi akselia, joiden keskipiste on keskimääräisen sykevaihtelun kohdalla. Poikittainen akseli mittaa välitöntä lyönti lyönniltä vaihtelua ja pitkittäinen akseli pitkänajan sykevaihtelua. Molemmista lasketaan keskihajonta. Poikittaisen akselin keskihajonta korreloi taajuuskenttäanalyysin HF:n kanssa yli 90 %:sti ja kuvaa näin pääasiassa vagaalista säätelyä. Pitkittäisen akselin keskihajonta korreloi taajuuskenttäanalyysin LF:n kanssa yli 90 %:sti ja kuvaa näin sympaattista aktivaatiota. Näiden keskihajontojen suhde kuvaa siis sympato-vagaalista tasapainoa. Paluukuvauksen on todettu havaitsevan sellaisia eroja, joihin taajuuskenttäanalyysi ei kykene ja paluukuvaus näyttäisikin olevan taajuuskenttäanalyysiä parempi kuvaamaan sympato-vagaalisia muutoksia. (Laitio ym. 2001)

2.3.8 Approksimatiivinen entropia ja DFA (detrended fluctuation analysis)

Yllä mainittujen lisäksi sykevaihtelua voidaan analysoida approksimatiivisen entropian ja DFA:n avulla. Approksimatiivinen entropia mittaa aikasarjan mutkikkuutta, eli entropian kasvaessa epäsäännöllisyys kasvaa. Satunnaisen sykevaihtelun entropia on siis korkea ja säännöllisen sykevaihtelun entropia matala. Approksimatiivista entropiaa laskettaessa muodostetaan sykevälien aikasarjasta vektoreita. (Laitio ym. 2001)

DFA:ta käytetään mittaamaan aikasarjan sisäisiä korrelaatioita. Sykkeellä on sekä lyhyen että pitkän aikavälin korrelaatioita, eli jokainen sykeväli on riippuvainen kaikista aikaisemmista sykeväleistä. Näin pystytään kohtuullisella todennäköisyydellä ennustamaan välittömästi seuraavan sykevälin pituus ja esimerkiksi tunnin jälkeen seuraavan sykevälin pituus. (Laitio ym. 2001)

2.4 Sykevälivaihteluun vaikuttavat tekijät

Sydämen sykevälivaihtelu on hyvin tarkkaan säädeltyä toimintaa, johon vaikuttavat monet eri tekijät. Yksi tärkeimpiä säätelyyn vaikuttavia tekijöitä on sympaattisen ja parasympaattisen autonomisen hermoston tasapaino. (Laitio ym. 2001) Muita sykevälivaihteluun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. vuorokaudenaika, ikä, sukupuoli ja fyysinen aktiivisuus (Beckers, Verheyden & Aubert 2006, Goldberger, Challapalli, Tung, Parker & Kadish 2001). Näiden lisäksi myös monet autonomisen hermoston toimintahäiriöt ja sairaudet sekä autonomiseen hermostoon vaikuttavat lääkeaineet vaikuttavat sydämen sykevälivaihteluun (Task Force 1996). Seuraavassa käsittelen työni kannalta tärkeimpiä sykevälivaihteluun vaikuttavia tekijöitä.

2.4.1 Sympaattisen ja parasympaattinen hermosto

Vagaaliseen (kiertäjähermo eli vagushermo, tärkein parasympaattinen hermo) aktiivisuuteen liittyy pieni syke ja suuri sykevaihtelu, kun taas sympatikusstimulaatio suurentaa sykettä ja vähentää sykevaihtelua (Tahvanainen ym. 2003, 112). Sympaattiset ja parasympaattiset säikeet haarautuvat eri tavoin sydänlihaksessa. Parasympaattiset reseptorit sijaitsevat pääasiassa vasemman kammion posteroinferiorisessa seinässä ja sympaattiset afferentit reseptorit taas kammion anteriorisessa osassa. Parasympaattiset postganglionaariset neuronit sijaitsevat lähellä pääte-elintä ja siten niiden säikeet ovat lyhyitä, kun taas sympaattisen säikeet ovat pitkiä. Vaste parasympaattiselle stimulaatiolle tulee muutamassa millisekunnissa sympaattisen vasteen vaatiessa muutaman sekunnin. (Laitio ym. 2001)

2.4.2 Vuorokaudenaika

Suurimmat muutokset vuorokauden aikaisessa sykevälivaihtelussa johtuvat sykkeen päiväyövaihtelusta (Beckers ym. 2006; Tahvanainen ym. 2003, 112). Tutkimusten mukaan yöaikaan sykevälivaihtelua tapahtuu enemmän kuin päivisin. Tämän katsotaan johtuvan parasympaattisen aktivaation lisääntymisestä yöaikaan. (Cavallari, Fang, Mittleman & Christiani 2010; Massin, Maeyns, Withofs, Ravet & Gérard 2000) Sykevälivaihtelussa on eroja

myös unen eri vaiheissa. Non-REM-unessa matalataajuuksinen vaihtelu vähenee ja korkeataajuuksinen vaihtelu lisääntyy, mikä merkitsee yöllistä parasympaattisen hermoston vallitsevuutta. REM-unessa matalataajuuksinen vaihtelu ei muutu, mutta korkeataajuuksinen vaihtelu vähenee samalle tasolle kuin hereillä oltaessa. Sympaattisen hermoston aktiivisuuden tiedetään myös lisääntyvän REM-unen aikana merkittävästi. (Laitio ym. 2010) Amelsvoortin ym. (2000) tutkimuksessa havaittiin vuorotyötä tekevillä sykevälivaihtelun (SDNN) olevan matalampaa myös nukkuessa verrattuna päivävuorossa työskenteleviin. Tämän katsotaan selittyvän mm. sydämen hermostollisen säätelyn vuorokausirytmin muuttamisella, sympaattisen aktivaation lisääntyessä silloin, kun sydän ja verenkiertoelimistö ennakoii lepoa. (Amelsvoort, Schouten, Maan, Swenne & Kok 2000).

2.4.3 Ikä ja sukupuoli

Sykevälivaihtelun määrä vaihtelee myös iän mukaan. Vaihtelu lisääntyy autonomisen hermoston kehittymisen myötä ja on suurimmillaan 15–39 vuoden iässä. (Laitio ym. 2001) Ikääntymisen seurauksena sykevälivaihtelun on todettu vähenevän (Zhang 2007; Umetani, Singer, McCraty & Atkinson 1998; Jensen-Urstad ym. 1997; Stein, Kleiger & Rottman 1997; Liao ym. 1995; Bigger ym. 1995) ja sen on havaittu olevan vähäisintä yli 60-vuotiailla (Laitio ym. 2001). Zhang (2007) havaitsi, että sykevälivaihtelu pieneni asteittain vielä yli 60 ikävuodesta aina yli 80 ikävuoteen asti (Zhang 2007). Sykevälivaihtelun parasympaattinen aktiivisuus on korkeampaa nuoremmilla ja laskee ikääntymisen seurauksena nopeammin kuin sympaattinen aktiivisuus (Umetani ym. 1998).

Sykevälivaihtelussa nähdään eroja myös sukupuolten välillä. Naisilla matalataajuuksisen (LF) vaihtelun on havaittu olevan vähäisempää ja korkeataajuuksisen (HF) vaihtelun suurempaa kuin miehillä ja LF-HF-suhde on naisilla miehiä alhaisempi. (Barantke ym. 2008; Zhang 2007; Liao ym. 1995). Ikääntymisellä on kuitenkin havaittu olevan suurempi vaikutus sykevälivaihteluun kuin sukupuolella (Zhang 2007), sillä sukupuolten väliset erot sykevälivaihtelussa näyttävät katoavan 50 ikävuoden jälkeen (Umetani ym. 1998). Osan sukupuolten välisistä eroista katsotaan selittyvän mm. hormonitoiminnan eroilla. Tätä tukisi

myös se, että sukupuolten väliset erot sykevälivaihtelussa katoavat ikääntymisen seurauksena vaihdevuosisien jälkeen. (Mendonca ym. 2010)

2.4.4 Fyysinen kuormitus

Sykevälivaihteluun vaikuttavat myös asennonmuutokset sekä fyysinen ja henkinen kuormitus. (Tahvanainen ym. 2003, 112) Siirryttäessä levosta fyysiseen kuormitukseen näyttäisi sykevälivaihtelu laskevan (Brenner, Thomas & Shephard 1998; Gregoire, Tuck, Yamamoto, & Hughson 1996; Casadei, Cochrane, Johnston, Conway & Sleight 1995). Tähän vaikuttavat mm. rasituksen kesto ja teho. Sykevälivaihtelu laskee asteittain rasituksen kasvessa (kohtalaiseen kuormitukseen saakka), jolloin parasympaattinen aktiivisuus vähenee ja sympaattinen väliaikaisesti lisääntyy. Lasku on tasaista aina noin 50 % tasolle $VO_2\text{max}$:sta, jonka ylitettyään se näyttäisi tasaantuvan (Achten & Jeukendrup 2003; Brenner ym. 1998). Enemmän liikuntaa harrastavilla on myös havaittu olevan korkeampi sykevälivaihtelu kuin liikuntaa harrastamattomilla (Grund ym. 2001; Bonaduce ym. 1998). Yksittäisen harjoituksen jälkeen sykevälivaihtelu näyttäisi lisääntyvän, mutta on myös näyttöä siitä, että sykevälivaihtelussa ei olisi eroa ennen harjoitusta ja sen jälkeen. Harjoitusjakson pituus saattaisi olla yksi selittävä tekijä edellä mainittuihin ristiriitaisiin tuloksiin. (Achten & Jeukendrup 2003)

Loimaala ym. tutkivat erilaisen aerobisen harjoittelun vaikutusta sykevälivaihteluun terveillä istumatyötä tekevillä miehillä. Tutkimukseen osallistui 83 keski-ikäistä miestä (35–55v.), jotka harjoittelivat viisi kuukautta 4–6 kertaa viikossa, vähintään 30 minuuttia kerrallaan. Ensimmäinen ryhmä harjoitteli syketasolla, joka vastasi 55 %:a osallistujan $VO_2\text{max}$:sta ja toinen ryhmä 75 %:n tasolla. Tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä muutoksia sykevälivaihtelussa testiryhmien ja verrokkien välillä. Yhtenä syynä tähän tutkijat epäilivät intervention suhteellisen lyhyttä kestoja. Sykevälivaihtelussa näkyviin muutoksiin tarvitaan todennäköisesti pidempikestoista harjoittelua, joka on jatkunut jopa useita vuosia. (Loimaala, Huikuri, Oja, Pasanen & Vuori 2000)

2.4.5 Kuormituksen jälkeinen sykevälivaihtelu

Tutkimuksia kuormituksen jälkeisen palautumisen aiheuttamista muutoksista autonomisessa säätelyssä on suhteellisen vähän. Kuormituksen jälkeinen sykkeen pieneneminen on riippuvainen parasympaattisen ja sympaattisen hermoston aktiivisuudesta. Kuormituksen jälkeisen palautumisen aikana sympaattisen hermoston aktivaatio vähenee ja parasympaattisen lisääntyy, jonka seurauksena syke pienenee. (Borresen & Lambert 2008)

Palautumisen on havaittu olevan riippuvainen myös suorituksen kuormittavuudesta. Maksimaalisen suorituksen jälkeen palautuminen oli hitaampaa verrattuna vähemmän kuormittavaan (submaksimaaliseen) suoritukseen. Tämä johtuu maksimaalisen suorituksen selvästi korkeammasta sympaattisen hermoston aktivaatiosta. (Borresen & Lambert 2008) Brennerin ym. (1998) mukaan 30 minuutin polkupyöräharjoituksen (50 % VO_2max) jälkeen sykevälivaihtelu palasi raskautta edeltävälle tasolle 15 minuutin kuluessa harjoituksen päättymisestä (Brenner, Thomas & Shephard 1998). Javorka ym. (2002) tutkivat 17 terveen harjoittelemattoman miehen (keski-ikä 20 vuotta) sykevälivaihtelua ennen harjoitusta, harjoituksen aikana ja 30 minuuttia harjoituksen jälkeen. Harjoituksena tehtiin 8 minuutin askellustesti 0,46 m:n korkuiselle penkille, kuormitukseltaan 70 % maksimista (määriteltä erillisellä askellustestillä). Sykevälivaihtelua kuvaavat (LF, HF, RMSSD, SD) parametrit vähenivät harjoituksen aikana ja nousivat harjoituksen päätyttyä, mutta eivät kuitenkaan palautuneet 30 minuutin aikana sille tasolle, mikä mitattiin ennen harjoitusta. (Javorka, M., Zila, Balhárek, Javorka, K. 2002)

Armstrong ym. (2011) tutkivat sykevälivaihtelun päivittäisiä muutoksia 24 tuntia ennen maksimaalisen hapenottokyvyn testin ja sen jälkeen. Tutkimukseen osallistui yhteensä 24 tervettä ja hyväkuntoista miestä että naista. Tutkittavat oli jaettu kahteen ryhmään iän perusteella, nuoret (19–25 v.) ja keski-ikäiset (40–55 v.). Molemmissa ryhmissä tutkittavia oli yhteensä 12. Nuoremmalla ryhmällä sykevälivaihtelu (SD, HF, LF, LF/HF) oli korkeampaa jokaisena vuorokauden aikana ennen testiä. Testin jälkeen sykevälivaihtelu oli nuorilla myös vanhempaa ryhmää korkeampaa, mutta suurimmassa osassa sykevälimuuttujia (SD, LF, LF/HF) tilastollista merkitsevyyttä ryhmien välillä ei löydetty iltapäivän mittauk-

sisä. Sykevälivaihtelu palautui molemmilla ryhmillä takaisin lähtötasolle 24 tunnin aikana maksimaalisen testin jälkeen. Nuoremmalla ryhmällä oli palautumisvaiheen aikana suurempi parasympaattinen aktiivisuus, mikä viittaisi nopeampaan palautumiskykyyn vanhempaan ryhmään verrattuna. (Armstrong, Kenny, Green, Seely 2011)

Gladwell ym. (2010) tutkivat kolmen eritehoisen kuormituksen (kohtalainen (RPE 12), raskas (RPE 15) ja erittäin raskas (RPE 18)) vaikutusta sykevälimuuttujiin. Testit tehtiin makuuasennossa poljettavalla polkupyörällä ja jokainen testi kesti 20 minuuttia. Sykevälivaihtelumuuttujat (RMSSD, SDRR, HF, LF) olivat selvästi matalammalla vielä 15 minuuttia kaikkien kuormitusten jälkeen, mutta palautuneet 30 minuuttia kuormituksen jälkeen lähes lähtötasolle. (Gladwell, Sandercock & Birch 2010).

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon ikääntyvät palomiehet kuormittuvat savusukellustestiradan aikana ja miten he palautuvat kuormituksesta.

3.1 Tutkimuskysymykset

Tarkoitukseni on saada vastauksia kysymyksiin:

1. Miten työskentely savusukellustestiradalla kuormittaa ikääntyviä palomiehiä?
2. Kuinka nopeasti ikääntyvät palomiehet palautuvat työskentelyn aiheuttamasta kuormituksesta savusukellustestiradan jälkeen?

3.2 Hypoteesit

Tämän tutkimuksen hypoteesit ovat:

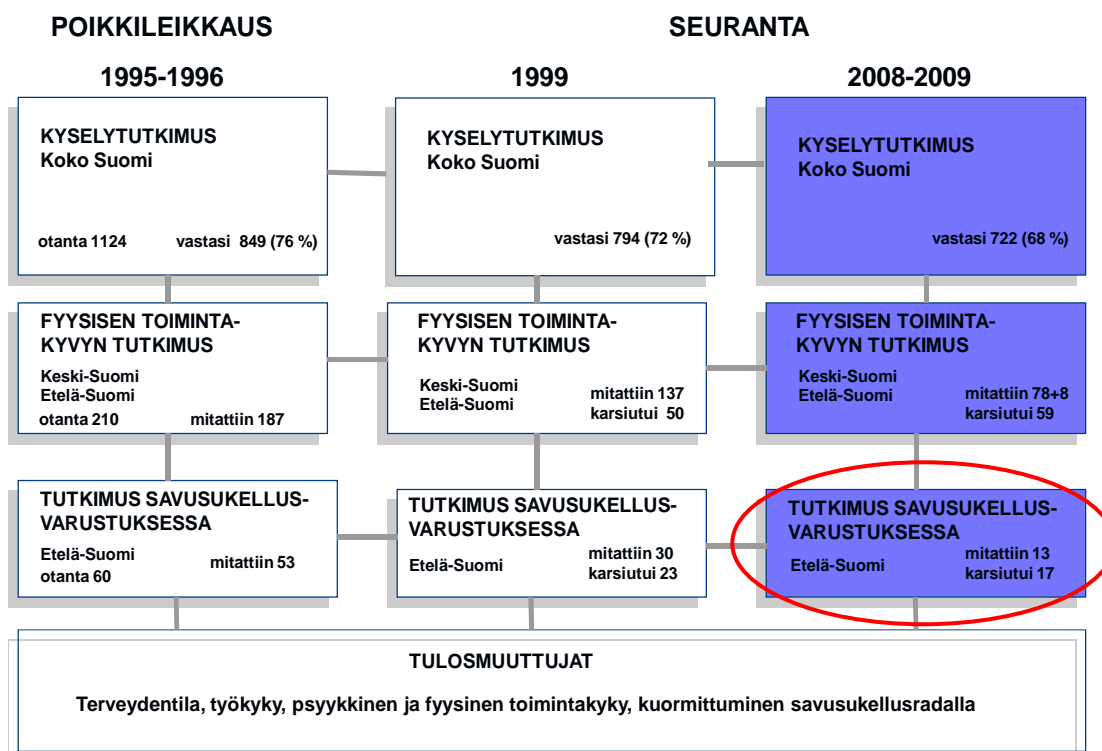
- i) Hyvä kestävyyskunto on yhteydessä nopeampaan testiradalta palautumiseen.
- ii) Ennen testiä mitattu sykevälivaihtelu ja palautumisen aikana mitattu sykevälivaihtelu ovat tilastollisesti yhteydessä toisiinsa.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineiston keruu

Tutkimus on osa Työterveyslaitoksen vuonna 1996 aloittamaa eri-ikäisten palomiesten (palomiehet, ylipalomiehet, paloesimiehet ja palomestarit) terveys- ja toimintakykytutkimusta (kuva 3). Tutkimukseen savusukellusvarustuksessa kutsuttiin vuonna 2009 kaikki edelleen työssä olleet palomiehet (N=24), jotka myös osallistuivat alkumittauksiin 1996. Alkumittauksiin vuonna 1996 valittiin yhteensä 60 palomiestä satunnaisotannalla 110 palomiehen joukosta kolmesta eri ikäryhmästä (30–34-, 40–44- ja 50–54-vuotiaat) Etelä-Suomen alueelta. Alkumittauksiin osallistui yhteensä 53 palomiestä. Karsiutumisen syinä olivat sairausloma (N=2) sekä haluttomuus osallistua tutkimukseen joko terveydellisistä tai muista henkilökohtaisista syistä tai tutkimusaikaa ei ollut mahdollista sopia hankkeen aikataulun puitteissa (N=5) (Punakallio ym. 1997a).

Tähän tutkimukseen vuonna 2009 osallistui 13 palomiestä. Yhteensä 40 palomiestä karsiutui 13 vuoden aikana alkumittauksiin verrattuna. Karsiutuneiden määrää suurentaa vanhimman tutkimusryhmän (alun perin 50–54-vuotiaat) (N=18) siirtyminen eläkkeelle. Vuoden 2009 mittauksista karsiutuneista viisi oli työkyvyttömyyseläkkeellä tai sairauslomalla. Yksi tutkituista oli vuorotteluvapaalla ja yhteensä kuusi oli vaihtanut alaa. Yhteensä kuudella palomiehellä oli kielto suorittaa testirata terveydellisistä syistä, kahden palomiehen osallistumisen esti sairauden jälkitila ja kaksi ei halunnut osallistua. (Punakallio & Lusa 2011)



Kuva 3. Koko tutkimuksen kulku (Mukailtu Punakallio & Lusa 2011).

Kuvassa 3. on kuvattu koko 13 vuoden seurantatutkimuksen kulku, josta on punaisella ympyröity tämän tutkimuksen aineisto. Tutkimuksen seuranta-aika on ollut pitkä, minkä vuoksi tutkimukseen osallistuneet palomiehet ovat myös keski-ikältään melko iäkkäitä (48 v.). Osaltaan tähän vaikutti myös se, että tutkimuksen alussa (vuonna 1995) mukaan haluttiin palomiehiä, joilla oli jo työkokemusta useampi vuosi. Kaikki palomiehet osallistuivat tutkimuksiin vapaaehtoisesti. Tutkimuslupa saatiin Helsingin- ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin eettistä toimintaa koordinoivalta yksiköltä vuonna 2008. Ennen mittauksiin tuloa tutkittavat olivat antaneet kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta ja saaneet kirjalliset ohjeet tutkimuksen kulusta sekä siihen valmistautumisesta (liite 1).

4.2 Tutkittavat

Tutkittavina oli 13 palomiestä Etelä-Suomesta. Yksi mittaus jouduttiin hylkäämään testissä ilmenneen liian suuren virheprosentin myötä. Kenelläkään ei ollut käytössään verenkiertoelimistön toimintaan vaikuttavia lääkkeitä. Tutkittavien taustatiedot on esitetty alla olevassa taulukossa 8.

Taulukko 8. Tutkittavien (N=12) taustatiedot. Keskiarvo (SD) ja vaihteluväli

Ikä (v)	48 ± 5	43 – 55
Paino (kg)	83 ± 6	75 – 98
Pituus (cm)	178 ± 6	168 – 187
BMI (kg/m²)	26,4 ± 1,3	24,0 – 28,9
Rasvaprosentti	18,8 ± 3,0	12,9 – 22,4
VO₂max (ml/kg/min)	41,7 ± 3,7	36,9 – 48,4
Maksimisyke (krt/min)	173 ± 12	146 – 191
Aktiivisuusluokka (0-10)	7 ± 1	5 – 8,5

4.3 Tutkimuksen kulku

Kaikki savusukellustestirataan liittyvät mittaukset toteutettiin Haagan pelastusaseman tiloissa Helsingissä tammi-maaliskuussa 2009. Testipäivä aloitettiin liikuntasalissa, jossa lämmittelyn (5 min) jälkeen mitattiin tutkittavien kehon ja liikkeiden hallintaa ensin urheilu- ja tämän jälkeen savusukellusvarustuksessa, ensin komposiittipullo (6 kg +/- 0,5 kg) paineilmalaitteessa ja uudelleen teräspullolla (11 kg, +/- 1 kg). Pullon kantolaite, johon sisältyy myös kasvo-osa, oli molemmissa sama, painoltaan noin 4,5–5 kg. Testien tarkempi kulku on esitetty liitteissä (liite 2). Tämän jälkeen palomiehet siirtyivät pelastusaseman alakerrassa sijaitsevaan tyhjennettyyn ajoneuvohalliin, jossa suoritettiin savusukellustestirata ja tähän tutkimukseen liittyvät muut mittaukset.

Tutkittavan saavuttua savusukellustestiin hänen kanssaan käytiin lävitse testin kulku, asennettiin sykevyö ja Suunnon T6-rannetietokone. Tämän jälkeen sykemittaus käynnistettiin tutkittavan istuessa paikallaan välttämättä turhaa liikkumista ja puhumista 10 minuuttia. Seu-

raavaksi tutkittavat pukivat päälleen täydellisen sammutusvarustuksen. Puettuaan varusteet tutkittavat suorittivat savusukellustestiradan Oulun mallin mukaan (Pelastussukellusohje 2007). Savusukellustestiradan jälkeen tutkittavat riisuivat maskin, kypärän, kypärän alushupun, hanskat, palovyön, paineilmalaitteen ja villapaidan pois ja istuivat paikallaan 30 minuuttia välttämättä turhaa liikkumista ja puhumista, jonka ajan sykemittausta jatkettiin edelleen. Heti testin jälkeen tutkittavat saivat juoda nestettä (urheilujuomaa). Testeihin kului aikaa valmisteluineen 1,5–2 tuntia. Mittausten jälkeen syketiedot purettiin ja tallennettiin rannetietokoneelta tietokoneelle Hyvinvointianalyysi-ohjelmaan.

4.3.1 Savusukellustestirata ja varustus

Savusukellustestirata suoritettiin pelastusaseman tyhjässä autohallissa betonialustalla. Autohallin lämpötila oli n. 20 astetta. Radalla testattavilla oli päällään täydellinen sammutusvarustus: Kaksiosainen monikerrospalopuku EN 469, alus- ja välivaatetus: pitkähihainen ja -lahkeinen puuvilla-alusasu, polyesterivillapaita ja asemahousut, kumiset palomiessaappaat, sukat, kypärä, maski, kypärän alushuppu, hanskat, palovyö ja paineilmalaitte. Tutkimuksen vaatetus muodostui samoista vaatteista ja laitteista, joita käytettiin myös ensimmäisissä mittauksissa 13 vuotta sitten, tästä johtuen mm. paineilmalaitte oli teräspullo (nykyään komposiittipullo).

Savusukellusta jäljittelevä testirata (Oulun malli) koostui viidestä tehtävästä (sivu 41), joista kuhunkin oli käytettävissä vakioitu aika, yhteensä 14,5 min (Pelastussukellusohje 2007, 24; Louhevaara ym. 1994). Jos tutkittava suoritti tehtävän tai tehtävät vakioitua aikaa nopeammin, käytettiin säästynyt aika palautumiseen seisoen aina kunkin tehtävän lopussa. Tutkittavia ohjattiin suorittamaan tehtävät kuten ne tehtäisiin työtilanteessa eli tavanomaisella tavalla ja nopeudella. Koko savusukellustestiradan ajan mitattiin sykettä, tallennettiin eri tehtävien väliajat ja kysyttiin koettua kuormittuneisuustuntemusta (RPE) Borgin asteikolla 6–20 jokaisen osatehtävän jälkeen. Savusukellustestiradan tehtävät kuvataan tarkemmin seuraavalla sivulla.

1. tehtävä:

Käveltiin 100 m ilman letkurullia ja tämän jälkeen uudelleen 100 m kantaen kahta 76 mm:n ja 25 mm:n letkurullaa käsillä (yhden letkurullan paino 16,6 kg). Tehtävään oli käytettävissä 4 min.

2. tehtävä:

Portaiden nousu, joka toteutettiin kiertämällä kahden porrastasanteen väliä niin, että nousukorkeutta kertyi yhteensä 20 m. Jokaisella nousukerralla kierrettiin viimeisen portaan jälkeen yhden metrin päässä tasanteella oleva merkki, jonka jälkeen laskeuduttiin takaisin lähtöpaikalle, joka oli yhden metrin päässä portaiden alapäästä. Portaiden nousuun käytetty aika oli 3,5 min.

3. tehtävä:

Siirrettiin betonilattialla vanteetonta kuorma-auton rengasta (paino n. 47 kg) moukarilla lyöden yhteensä 3 m. Moukarin varren pituus on 90 cm ja halkaisija 32 mm ja moukarin pään paino 6 kg. Suoritukseen oli käytettävissä aikaa 2 min.

4. tehtävä:

Esteiden ylitys ja alitus. Kuljettavana oli 8 m pitkä rata, jolla oli kolme 60 cm:n korkuista estettä 2 m:n etäisyydellä toisistaan. Testiin lähdettiin pystyasennosta 2 metrin päästä ensimmäisestä esteestä. Ensimmäinen este alitettiin, toinen ylitettiin, kolmas alitettiin ja tämän jälkeen käveltiin 2 m:n päässä sijaitsevalle kääntymispaikalle ja rata kuljettiin takaisin samassa järjestyksessä. Rata kierrettiin yhteensä kolme kertaa. Aikaa oli käytettävissä 3 min.

5. tehtävä:

Rullattiin 39 mm:n paloletku (pituus 25 m) käsissä siten, että toinen liitin pysyi koko ajan paikallaan. Tehtävään oli käytettävissä 2 min.

4.3.2 Mittaukset ennen testirataa, sen aikana ja jälkeen

Maksimaalisen hapenkulutuksen testit tehtiin tutkittaville fyysisen toimintakyvyn osatutkimuksen yhteydessä Työterveyslaitoksen laboratoriossa Helsingissä marraskuun 2008 – tammikuun 2009 välisenä aikana (kuva 3) (Punakallio & Lusa 2011). Maksimaalisen hapenkulutuksen määrittäminen suoritettiin polkupyöraergometrillä suoralla menetelmällä, jossa kuormaa (25 W) lisättiin kahden minuutin välein. Testi tehtiin uupumukseen asti, mikäli tutkittavan oireet eivät rajoittaneet testiä tai tutkittava halusi keskeyttää omasta halustaan. Testissä mitattiin hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa ja ventilaatiota henkäys-henkäykseltä-menetelmällä (Oxycon Mobil, Jaeger Toennies, Saksa). Lisäksi seurattiin sydämen sykettä ja EKG:ta 12-kanavaisella laitteella (Max II, Marquette and Case, Marquette, USA) sekä kysyttiin kuormittuneisuustuntemusta Borgin asteikolla 6–20. Verenpaine mitattiin Työterveyslaitoksella manuaalisella viisarimittarilla (Heine Gamma XXL, Heine, Saksa), jolla mitatut arvot on ilmoitettu tässä tutkimuksessa tutkittavien lepoarvona. Henkilöiden liikunta-aktiivisuuden määrittelyssä käytettiin Hyvinvointianalyysin aktiivisuusluokka-kyselyä asteikolla 0–10, jossa 0 = en harrasta liikuntaa ja 10 = harjoittelen päivittäin ja liikuntaan kuluttamani aika on viikossa yli 15 tuntia (liite 3). Luokittelu perustuu Jacksonin ym. (1990) tekemään tutkimukseen, johon Hyvinvointianalyysin kehittänyt yritys (Firstbeat Technologies Ltd.) on lisännyt luokat 7,5–10 (T. Romppainen, henkilökohtainen tiedonanto 11.5.2011). Tutkimuksessa esitetty kehonkoostumus mitattiin koko kehon impedanssipleetysmografialla (InBody, Mega Elektroniikka Oy, Suomi) (Punakallio & Lusa 2011).

Sykemittaukset toteutettiin Suunto T6-rannetietokoneella, joka käsittää rannevastaanottimen ja sykevyön. Mittari kerää talteen jokaisen sydämenlyönnin ja sen muistikapasiteetti on 100 000 sydämenlyöntiä. T6 on todettu luotettavaksi mitattaessa sykevälivaihtelua (Weippert ym. 2010; Roy, Boucher & Comtois 2009). T6-rannevastaanotin oli kiinnitetty savusukellustestiradalla paineilmalaitteeseen suojaisaan paikkaan olkapään korkeudelle, jotta testaaja pystyi seuraamaan sykettä koko testiradan ajan.

Ennen savusukellustestirataa ja sen jälkeen verenpaine mitattiin automaattisella verenpainemittarilla (Omron M4-I, Omron Healthcare, Japani) testattavan istuessa paikallaan. Savusukellustestiradan päätyttyä verenpainemittaus uusittiin 1, 3 ja 5 minuutin kuluttua, tutkittavien istuessa paikallaan välttämällä turhaa liikkumista ja puhumista. Sykevälimuuttujat (RMSSD, SD ja HF), hapenkulutuksen seuranta, ventilaatio ja EPOC on mitattu Suunnon T6-rannetietokoneella 0–10 minuuttia ennen savusukellustestiradan alkua, savusukellustestiradan ajan sekä 30 minuuttia testiradan päättymisestä. Mittalaite oli tutkittavilla koko mittausjakson ajan, eikä sitä irrotettu missään vaiheessa. Maksimaalisen ventilaation selvittämiseksi käytettiin hyväksyttävää kaavaa: $MVV \text{ (l/min)} = 38 \times FEV_1 \text{ (l)}$ (Sovijärvi 2003, 246). Kaavassa MVV tarkoittaa maksimaalista ventilaatiokapasiteettia ja FEV_1 tarkoittaa uloshengityksen sekuntikapasiteettia. FEV_1 taltioitiin Työterveyslaitoksella maksimaalisen polkupyöräergometritestin yhteydessä.

4.4 Analyysit

Mittausten analysointiin käytettiin Hyvinvointianalyysi-ohjelmaa versio 3.1 (Firstbeat Technologies Ltd., Suomi). Se on sykeanalyysiin perustuva tietokoneohjelma, jolla tunnistetaan sydämen sykkeestä ihmisen psykofysiologisia reaktioita ja tiloja. Ohjelma on kehitetty yksilön stressin ja siitä palautumisen arviointiin. Hyvinvointianalyysi antaa monipuolista tietoa henkilön fyysisestä ja psyykkisestä kuormituksesta ja palautumisesta. Ohjelman pohjautuu Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella tehtyihin tutkimuksiin sydämen toiminnasta. (Feld ym. 2007, 61, 73)

Hyvinvointianalyysi analysoi mukana kannettavan laitteen avulla (esim. tallentava sykepanta) tehdystä sykemittauksesta syke- ja sykevaihtelumuuttujia, joiden avulla se tunnistaa, onko elimistö stressi-, rentoutumis- tai liikuntatilassa. Stressitilaksi ohjelma analysoi hetket, jolloin sympaattisen hermoston aktiivisuus on elimistössä vallitseva. Silloin syke on koholla, sykevälivaihtelu vähentynyt ja hengitysfrekvenssi on matala suhteessa syketasoon ja sykevälivaihteluun. Vastaavasti rentoutumistilaksi ohjelma määrittelee hetket, jolloin palautumiseen liittyvän parasympaattisen hermoston aktiivisuus on elimistössä vallitseva, eli syke on lepotasolla ja sykevälivaihtelu on voimakasta ja säännöllistä. Perinteisten syke-

vaihtelumuuttujien lisäksi ohjelma tuottaa sykevaihtelu- ja hengitystietoa yhdistäviä tunnuslukuja, joiden avulla päästään tarkempaan stressi- ja palautumistilan arviointiin kuin yksittäisillä sykevälimuuttujilla. (Feld ym. 2007, 74-75)

4.4.1 Sykevaihtelumuuttujien analysointi

Tässä tutkimuksessa sykevälivaihteludata tallennettiin tallentavalla Suunto T6-rannetietokoneella. Rannetietokoneesta sykevälivaihteludata siirrettiin Firstbeatin Hyvinvointianalyysi-ohjelmaan. Analyysissä data pilkottiin pienempiin ajanjaksoihin (alkutilanne 0–10 min, savusukellustestirata, palautuminen 5–7 min testin jälkeen ja palautuminen 28–30 min testin jälkeen), joka mahdollisti näiden jaksojen keskinäisen vertailun. Samalla epäonnistuneet mittaukset, joissa virheprosentti (syketieto puuttui) oli noussut liian suureksi (<20 %) karsittiin pois. Epäonnistuneiden mittausten vuoksi yhden tutkittavan data jouduttiin kokonaan poistamaan. Muiden ajanjaksojen kohdalta suuren virheprosentin myötä jouduttiin savusukellusradan osalta poistamaan kolmen tutkittavan data ja palautumista kuvaavalta 5–7 minuutin jaksolta yhden tutkittavan data. Tämän jälkeen Hyvinvointianalyysin ”Data export”-toiminnon avulla data siirrettiin Excel-taulukkoon. Excelillä data muokattiin sellaiseen muotoon, että se pystyttiin siirtämään edelleen tilastollista analyysia varten.

Kunkin testihenkilön sykedatasta määriteltiin seuraavat muuttujat: Keskisyke (HR), peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD), sykevälien keskihajonta (SD), korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu (HF), keskimääräinen hapenkulutus (ml/kg/min), keskimääräinen ventilaatio (l/min) ja lepotason ylittävä hapenkulutuksen määrä EPOC (ml/kg).

Sykevälimuuttujista keskityin lähinnä aikasarjamuuttujiin (RMSSD ja SD), koska nämä soveltuvat hyvin yli 5 minuuttia kestävien mittausjaksojen analysointiin. Muista sykevälivaihtelua kuvaavista muuttujista otin mukaan korkeataajuaisen sykevälimuuttujan (HF), joka soveltuu hyvin lyhyiden (2–5 minuuttia) ja myös pidempien (24 h) mittausjaksojen analysointiin. (Task Force 1996)

4.4.2 Tilastolliset analyysit

Tämän työn otoksen jakaumaa testattiin Kolmogorovin-Smirnovin testillä ja huomattiin, että se ei ole normaalisti jakautunut. Tästä ja pienestä otoksen koosta (12) johtuen aineiston analysoinnissa on käytetty lähinnä parametrittomia menetelmiä. Parametrittomilla menetelmillä tarkoitetaan menetelmiä, joiden testisuureiden taustajakaumat eivät ole riippuvaisia siitä jakaumasta, josta havainnot ovat peräisin. Parametrittomissa menetelmissä on myös vähemmän oletuksia kuin parametrisissä menetelmissä ja ne soveltuvat laajalaisemmin erilaisiin mittaamistilanteisiin. Parametrittomien testien tulkinnat ovat myös suurempia kuin parametristen testien. Parametrittomia testejä käytetään silloin, kun otoskoko on pieni, esimerkiksi pienempi kuin 15. Pienillä otosko'oilla parametrittomat testit ovat myös luotettavampia kuin parametrilliset testit. (Metsämuuronen 2009, 386, 934, 938)

Tilastolliset analyysit suoritettiin SPSS 14.0 for Windows -ohjelmalla. Tuloksista on laskettu keskiarvo, keskihajonta ja vaihteluväli. Korrelaatioanalyysissä käytettiin parametritonta Spearmanin korrelaatiokerrointa. Analyysiin hyväksyttiin syke data, jossa mittausvirhettä oli <20 % (Borg ym. 2009, 36). Tutkimuksessa tilastollisen merkitsevyyden rajoiksi asetettiin $*p < 0,05$ (melkein merkitsevä), $**p \leq 0,01$ (merkitsevä) ja $***p \leq 0,001$ (erittäin merkitsevä). P-arvot laskettiin Wilcoxonin merkkitestillä.

5 TULOKSET

5.1 Savusukellustestiradalla kuormittuminen

Sydämen syke savusukellustestiradalla oli keskimäärin 147 krt / min, korkeimmillaan syke oli ryömintätehtävässä (taulukko 9). Keskimääräinen kuormittuminen prosentteina maksimisykkeestä koko radalla oli 85 %HRmax. Huomioitavaa on se, että vain yhdellä tutkimukseen osallistuneesta 12 palomiehestä hetkellinen maksimisyke jäi savusukellustestiradalla alle mitatun maksimisykkeen (vrt. taulukko 8). Kaksi tutkittavaa ei läpäissyt savusukellustestirataa ajan sallimissa rajoissa (14,5 min). Testirataan käytettävissä oleva aika ylittyi toisella 51 sekunnilla ja toisella kahdella minuutilla, mutta koska kyseessä oli tutkimustilanne, heidän annettiin suorittaa rata loppuun asti. Korkein koettu kuormittuminen savusukellustestiradalla havaittiin ryömintätehtävässä (RPE 18).

Taulukko 9. Sydämen sykkeen (HR), maksimisykkeeseen suhteutetun sydämen sykkeen (%HRmax), koetun kuormituksen (RPE) sekä fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman lepota-son ylittävän hapenkulutuksen (EPOC) keskiarvot, keskihajonta ja vaihteluväli savusukellustestiradan eri osatehtävissä ja koko radalla, (n=9).

Tehtävä	HR (lyöntiä/min)	% HRmax	RPE	EPOC (ml/kg)
Kävely ja kantaminen	132 ± 17 (99-162)	76 ± 5 (68-85)	14 ± 1 (11-15)	13 ± 8 (5-32)
Portaiden nousu	145 ± 16 (114-170)	84 ± 5 (78-94)	15 ± 1 (13-17)	26 ± 12 (13-50)
Moukarointi	159 ± 16 (126-183)	92 ± 3 (86-96)	17 ± 1 (15-19)	41 ± 20 (22-86)
Ryömintä	165 ± 16 (136-187)	95 ± 2 (93-98)	18 ± 1 (16-20)	63 ± 24 (40-118)
Letkun kelaus	156 ± 14 (134-180)	90 ± 3 (86-94)	16 ± 2 (13-19)	74 ± 25 (45-127)
Koko rata	147 ± 15 (118-173)	85 ± 4 (81-92)	16 ± 2 (14-18)	80 ± 30 (46-144)

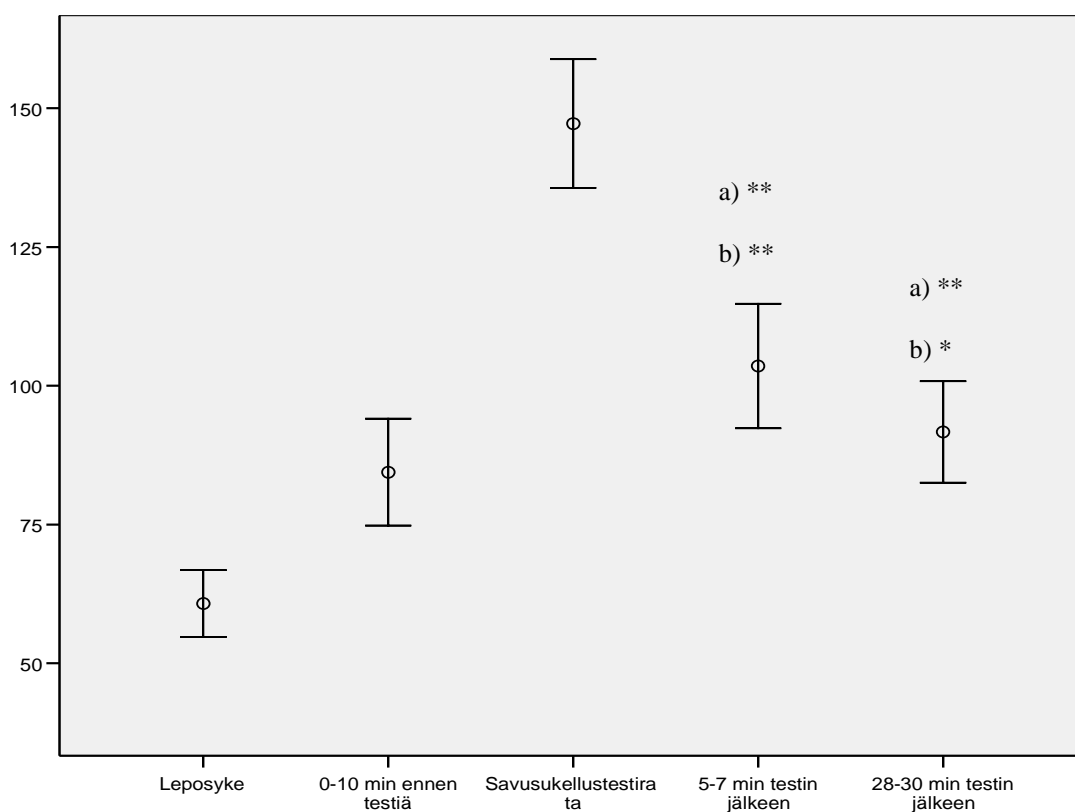
Keskimääräinen arvioitu hapenkulutus savusukellustestiradalla oli $31,6 \pm 2,6$ ml/kg/min (vaihteluväli 27,6–36,2), joka oli keskimäärin 77 ± 10 % tutkittavien maksimaalisesta mitatusta hapenkulutuksesta (vaihteluväli 63–93 % VO_2 max). Keskimääräinen ventilaatio savusukellustestiradalla oli 70 ± 8 l/min (vaihteluväli 60–82), ventilaatiohuippujen noustessa 69 ± 10 %:iin (vaihteluväli 60–93 %) tutkittavien maksimiventilaatiosta 154 ± 17 l/min. EPOC-arvot radalla nousivat keskimäärin arvoon 80 (ml/kg). Peräkkäisten sykeväli-

en keskimääräistä vaihtelua kuvaavaa RMSSD-arvo oli savusukellusradalla keskimäärin 6 ± 3 ms. Sykevälien keskihajontaa kuvaava SD-arvo oli savusukellustestiradalla keskimäärin 52 ± 20 ms. Korkeataajuista sykevaihtelua kuvaava HF-arvo oli savusukellustestiradalla keskimäärin 47 ± 39 ms².

5.2 Kuormituksesta palautuminen savusukellustestiradan jälkeen

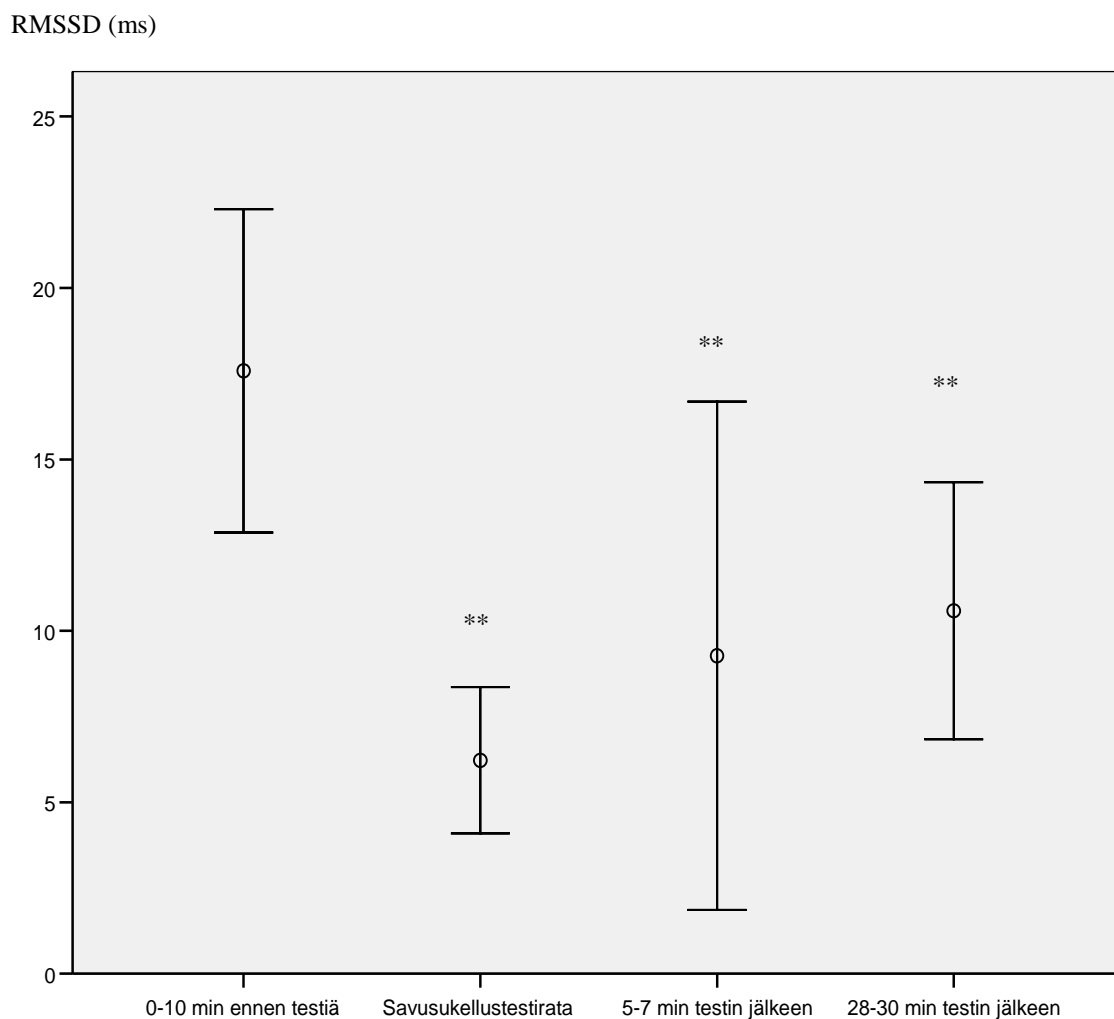
Testattavien leposyke (mitattu Työterveyslaitoksen mittausten yhteydessä) oli keskimäärin 60 ± 9 krt/min (vaihteluväli 45–76). Keskimääräinen syke 10 minuuttia ennen savusukellustestiä oli 84 ± 15 krt/min (49 %HRmax), vaihteluväli 59–109, 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen 104 ± 17 krt/min (60 %HRmax), vaihteluväli 74–130 ja 28–30 minuuttia testiradan jälkeen 92 ± 14 krt/min (53 %HRmax), vaihteluväli 66–113. Syke oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi sekä 5–7 ($p=0,003$) että 28–30 minuuttia ($p=0,002$) savusukellustestiradan jälkeen verrattuna levon aikaisiin sykkeisiin ja kun verrattiin 5–7 ($p=0,003$) ja 28–30 ($p=0,02$) minuutin jaksoja ennen savusukellusrataa mitattuun 0–10 minuutin jaksoon (Kuva 4).

Syke (krt/min)



Kuva 4. Syke (keskiarvo ja SD) levossa ($n=12$), ennen testiä ($n=12$), savusukellustestiradan aikana ($n=9$), 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=11$) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyydet * $p < 0,05$, ** $p \leq 0,01$ ja *** $p \leq 0,001$ a) leposykkeeseen verrattuna ja b) verrattuna lepojakssoon 0–10 minuuttia ennen savusukellustestirataa.

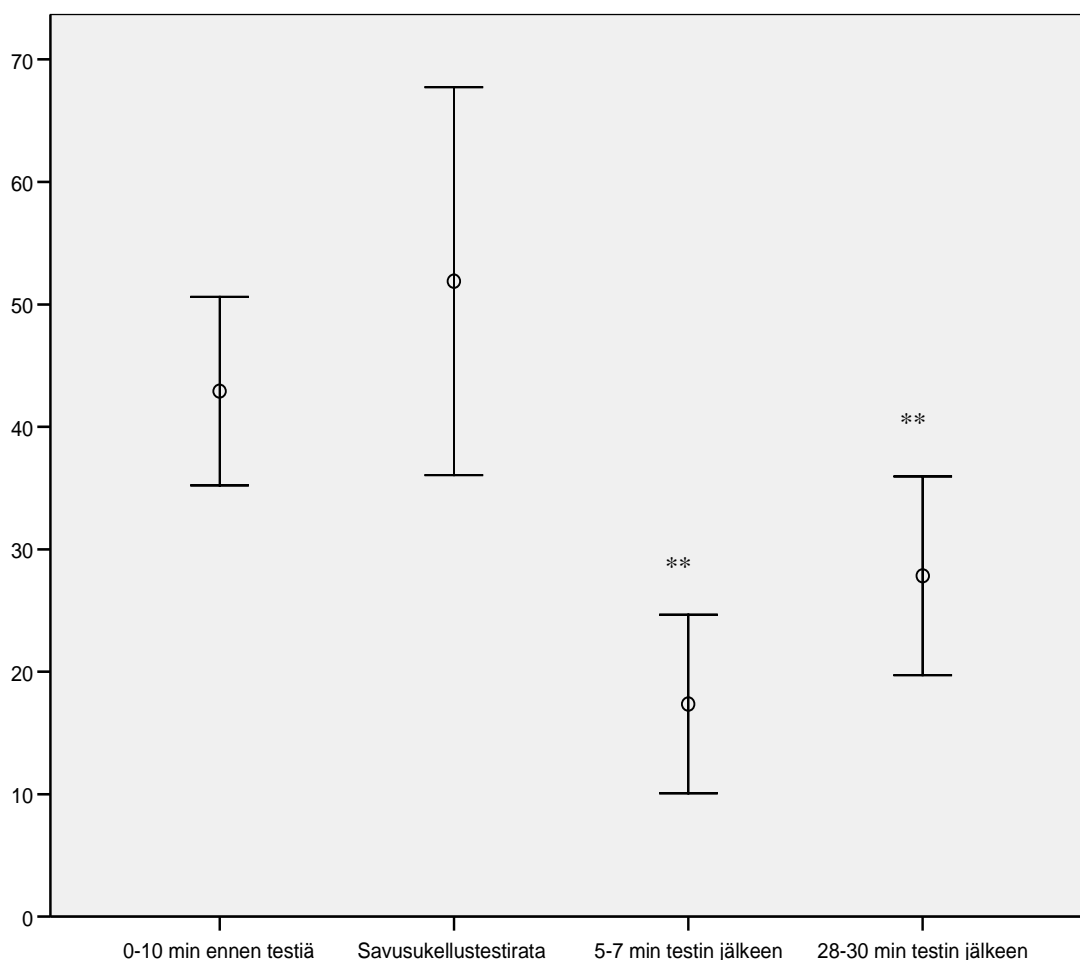
Sykevälivaihtelumuuttujista peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD) laski merkitsevästi ($p=0,008$) savusukellustestiradalla (6 ± 3 ms) verrattuna ennen testiä (18 ± 7 ms) mitattuihin arvoihin (kuva 5). RMSSD oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi myös vielä 5–7 (9 ± 11 ms, $p=0,008$) ja vielä 28–30 minuuttia (11 ± 6 ms, $p=0,005$) savusukellustestiradan jälkeen.



Kuva 5. RMSSD (keskiarvo ja SD), ennen testiä ($n=12$), savusukellustestiradalla ($n=9$), 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=11$) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyys $*p < 0,05$, $**p \leq 0,01$ ja $***p \leq 0,001$ verrattuna lepojaksoon 0–10 minuuttia ennen savusukellustestirataa.

Sykevälien keskihajonta (SD) laski merkitsevästi ($p=0,003$) 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen (17 ± 11 ms) verrattuna ennen testiä (43 ± 12 ms) mitattuihin arvoihin (kuva 6). SD oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi myös 28–30 minuuttia (28 ± 13 ms, $p=0,004$) savusukellustestiradan jälkeen.

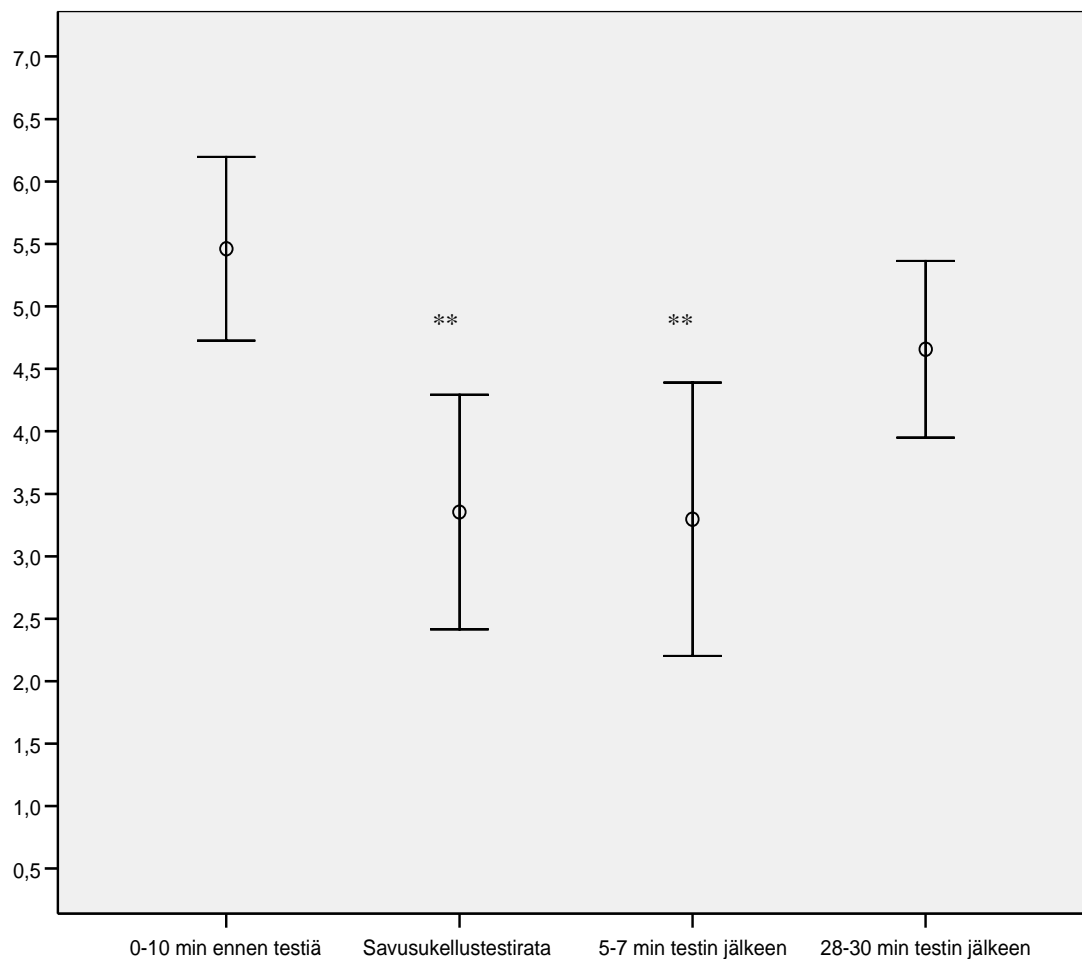
SD (ms)



Kuva 6. SD (keskiarvo ja keskihajonta), ennen testiä ($n=12$), savusukellustestiradalla ($n=9$), 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=11$) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyydet * $p < 0,05$, ** $p \leq 0,01$ ja *** $p \leq 0,001$ verrattuna lepojaksoon 0–10 minuuttia ennen savusukellustestirataa.

Korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu (HFln) laski merkitsevästi arvoon ($3,4 \pm 1,2 \text{ ms}^2$, $p=0,008$) savusukellustestiradalla verrattuna ennen testiä ($5,5 \pm 1,2 \text{ ms}^2$) mitattuihin arvoihin (kuva 7). HFln oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi myös 5–7 ($3,3 \pm 1,6 \text{ ms}^2$, $p=0,008$), mutta ei enää 28–30 minuuttia ($4,7 \pm 1,1 \text{ ms}^2$, $p=0,06$) savusukellustestiradan jälkeen.

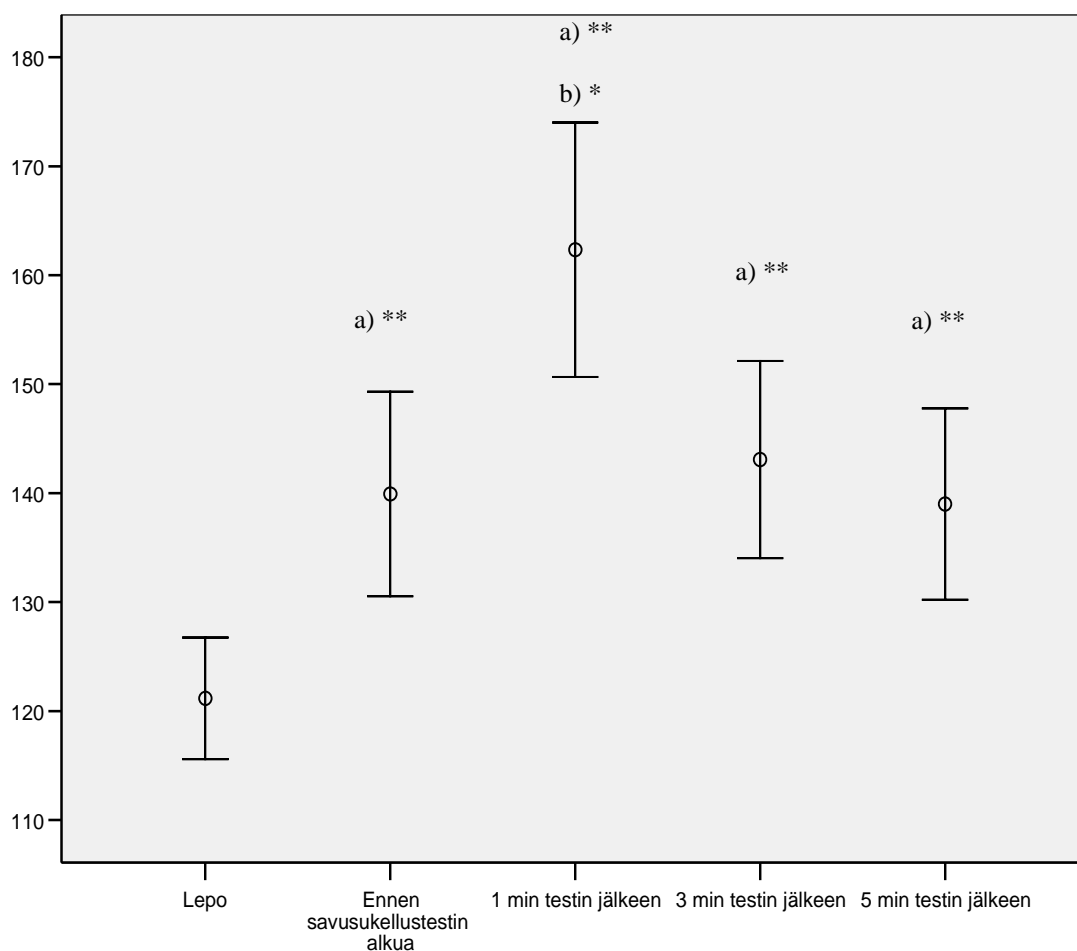
HFln (ms^2)



Kuva 7. Korkeataajuuksinen sykevaihtelu (HFln), ennen testiä ($n=12$), savusukellustestiradalla ($n=9$), 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=11$) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyydet * $p < 0,05$, ** $p \leq 0,01$ ja *** $p \leq 0,001$ verrattuna lepojaksoon 0–10 minuuttia ennen savusukellustestirataa.

Systolinen verenpaine (BPs) oli tilastollisesti merkittävästi koholla ennen savusukellustestä (140 ± 15 mmHg, $p=0,003$), minuutti testin jälkeen (162 ± 18 mmHg, $p=0,002$), kolme minuuttia testin jälkeen (143 ± 14 mmHg, $p=0,003$) ja vielä viisi minuuttia testin jälkeen (139 ± 14 mmHg, $p=0,003$) verrattuna Työterveyslaitoksella tehtyyn lepomittaukseen (121 ± 9 mmHg). Ennen testiä mitattu yläverenpaine oli tilastollisesti merkittävästi koholla vain minuutti testin jälkeen ($p=0,012$).

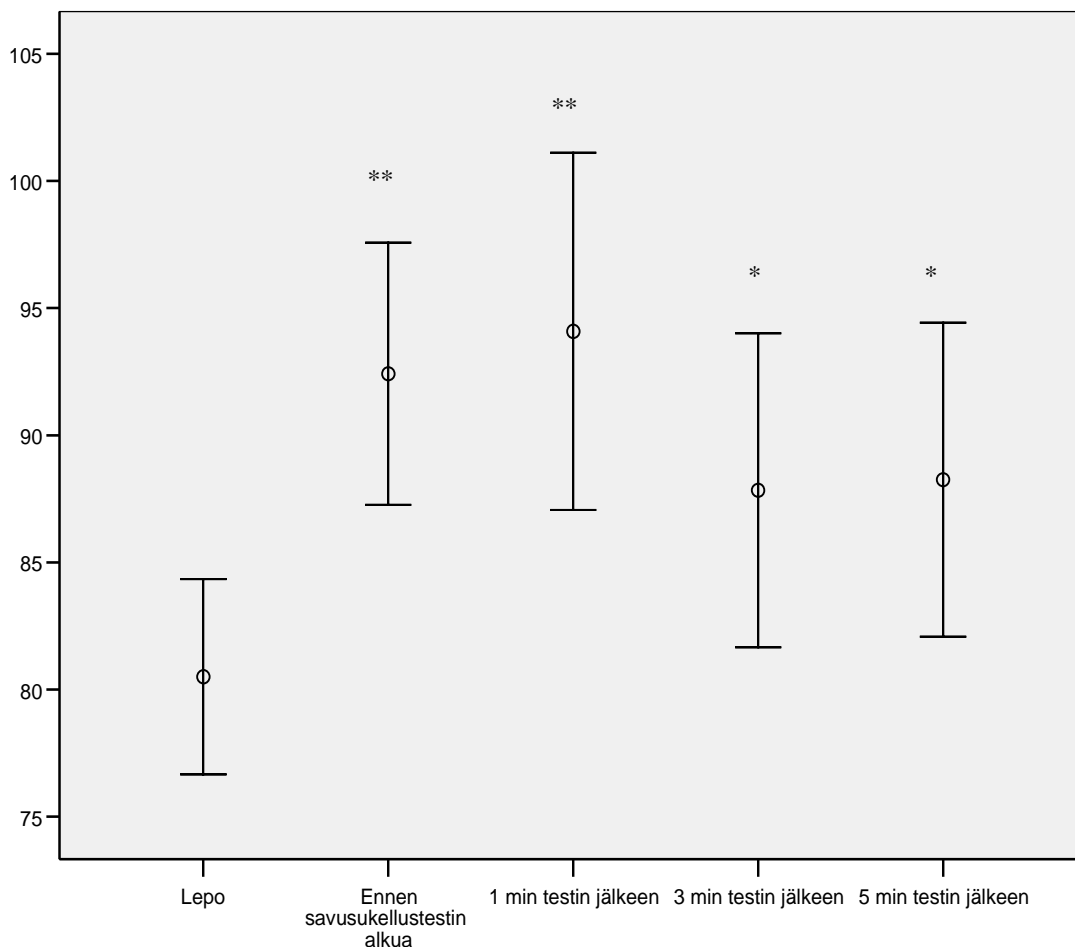
Systolinen verenpaine (mmHg)



Kuva 8. Systolinen verenpaine (BPs), levossa, ennen testiä, minuutti testin jälkeen, kolme minuuttia testin jälkeen ja viisi minuuttia testin jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyydet $*p < 0,05$, $**p \leq 0,01$ ja $***p \leq 0,001$ verrattuna a) lepoverenpaineeseen ja b) verenpaineeseen ennen savusukellustestirataa.

Diastolinen verenpaine (BPd) oli tilastollisesti merkittävästi koholla ennen testiä (92 ± 8 mmHg, $p=0,002$), minuutti testin jälkeen (94 ± 11 mmHg, $p=0,01$), kolme minuuttia testin jälkeen (88 ± 10 mmHg, $p=0,026$) ja viisi minuuttia testin jälkeen (88 ± 10 mmHg, $p=0,034$) verrattuna lepomittaukseen (81 ± 6 mmHg). Ennen savusukellustestiä mitattu alaverenpaine ei muuttunut tilastollisesti merkittävästi testin jälkeen.

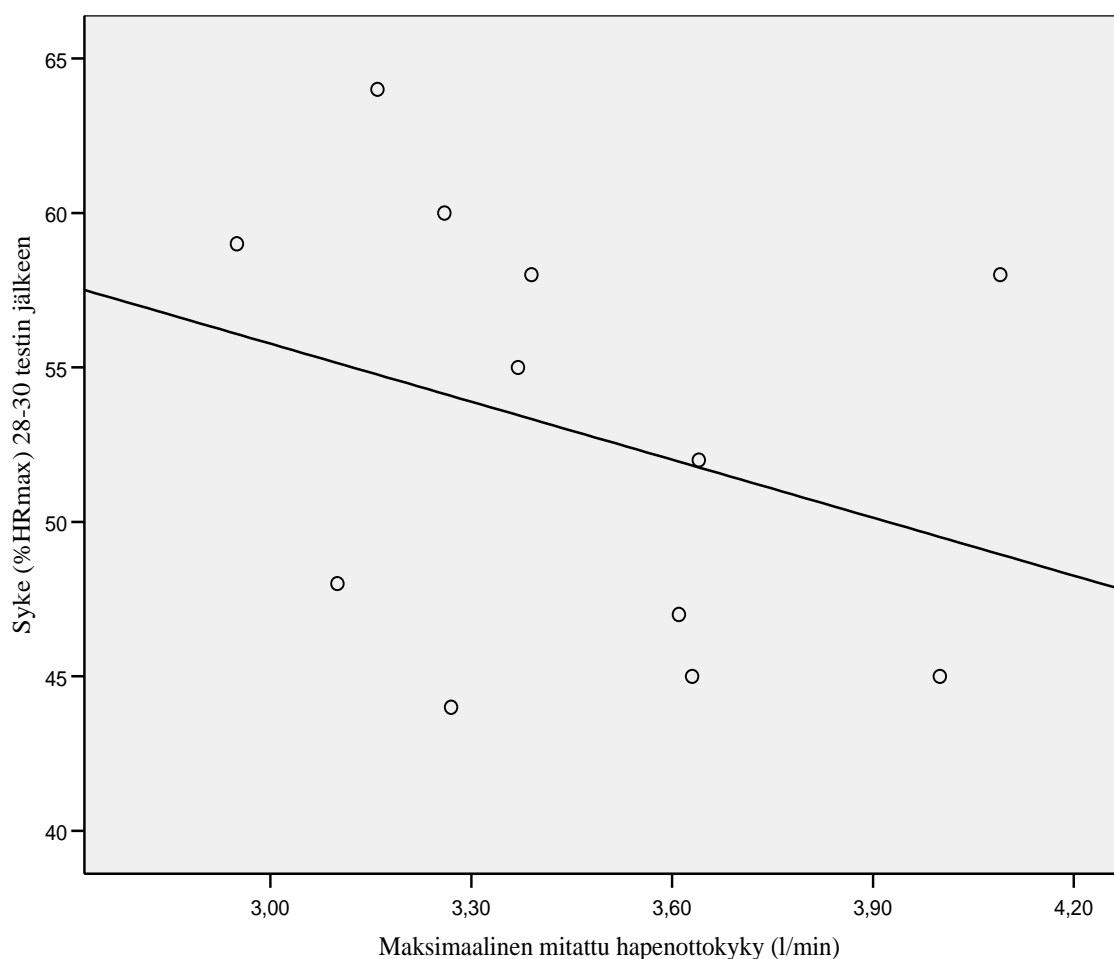
Diastolinen verenpaine (mmHg)



Kuva 9. Diastolinen verenpaine (BPd), levossa, ennen testiä, minuutti testin jälkeen, kolme minuuttia testin jälkeen ja viisi minuuttia testin jälkeen ($n=12$). Tilastollisten erojen merkitsevyydet $*p < 0,05$, $**p \leq 0,01$ ja $***p \leq 0,001$ verrattuna lepoverenpaineeseen.

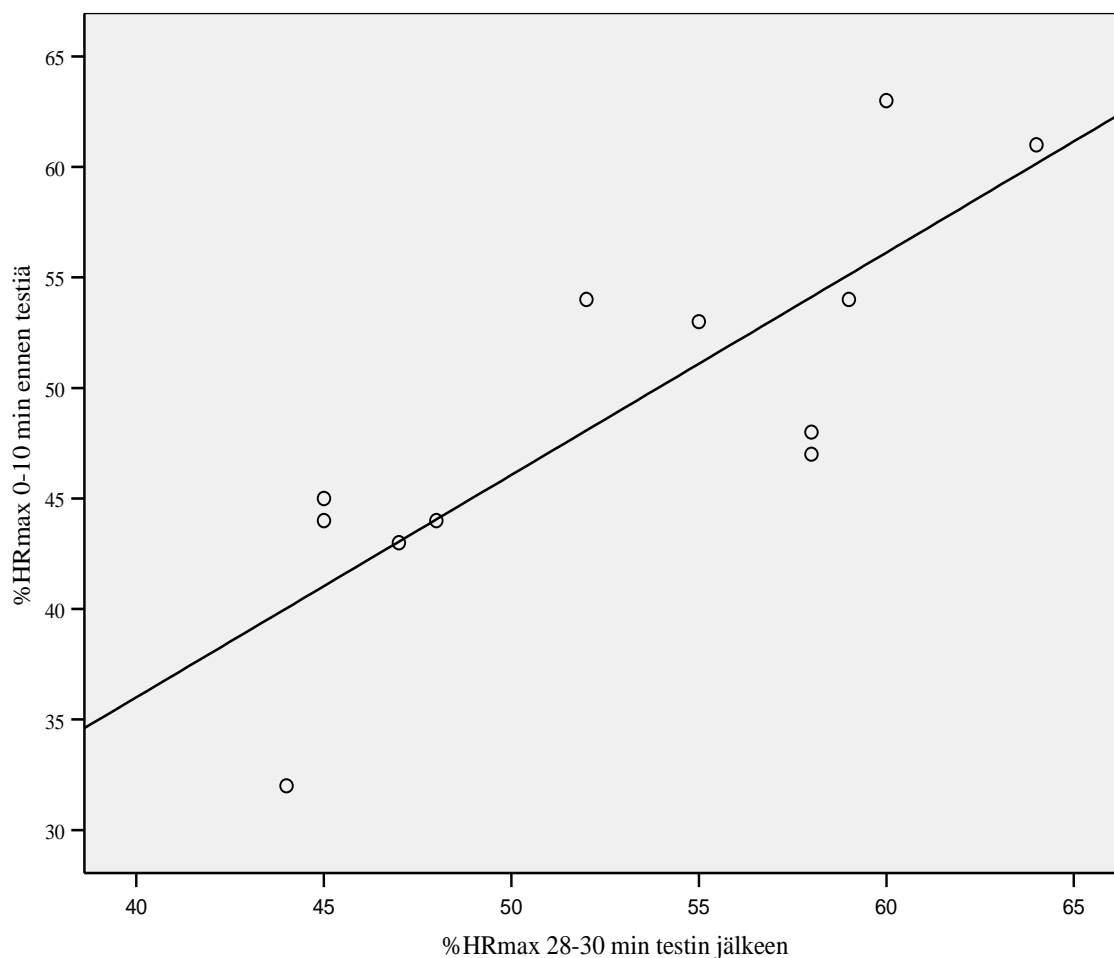
5.3 Muita tuloksia

Maksimaalisen hapenottokyvyn (l/min) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen mitatun sykkeen (%HRmax) välillä (kuva 10) ei havaittu korrelaatiota ($r=-0,396$, $p=0,202$). Vastaava havainto tehtiin myös hapenottokyvyn ja 5–7 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen mitatun sykkeen välillä ($r=-0,299$, $p=0,372$). Korrelaatiota ei havaittu myöskään painoon suhteutetun hapenottokyvyn (ml/kg/min) ja sykkeen välillä. Ennen savusukellustestirataa mitatut sykevälivaihtelumuuttujat (RMSSD, SD ja HF) eivät myöskään korreloineet merkitsevästi palautumisen aikana mitattujen sykevälivaihtelumuuttujien kanssa.



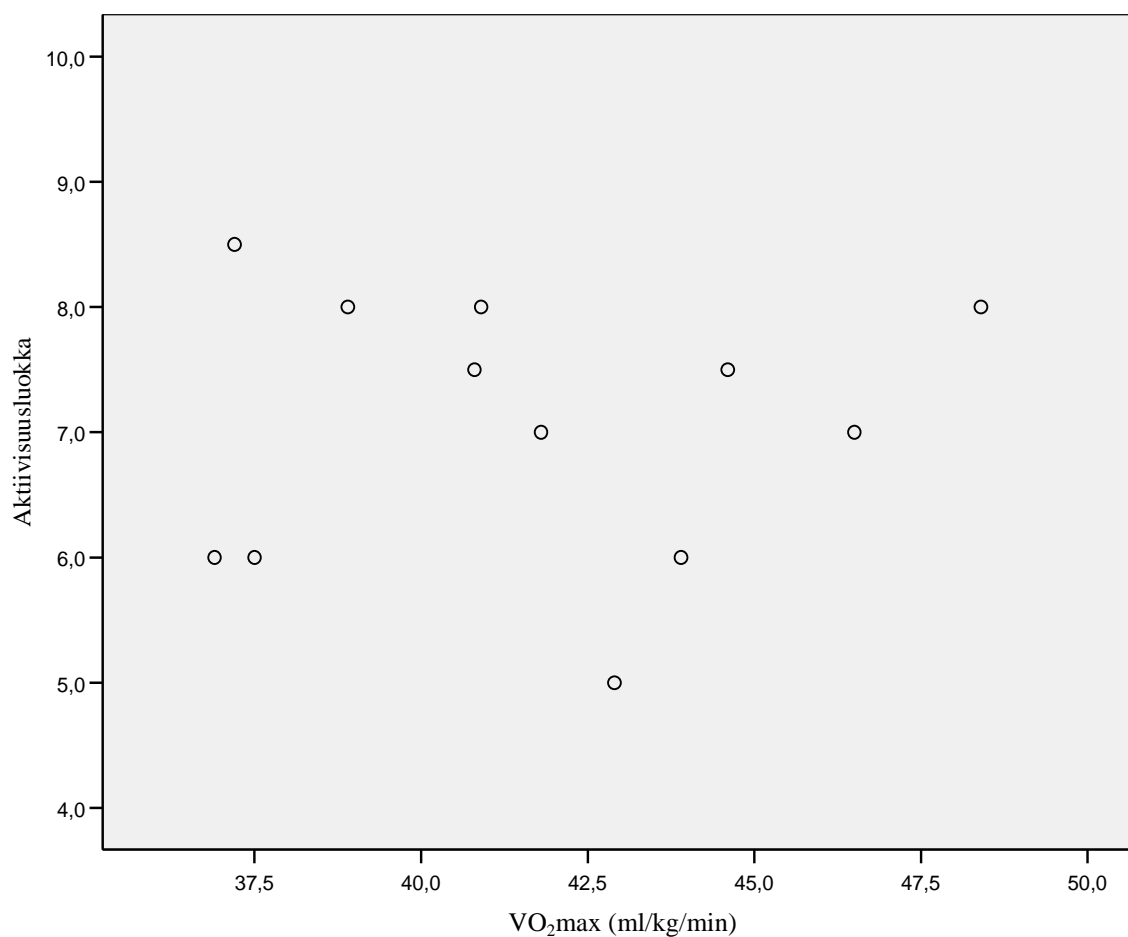
Kuva 10. Maksimaalisen mitatun hapenottokyvyn (l/min) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen mitatun (%HRmax) sykkeen ($n=12$) välinen lineaarinen korrelaatio ($r=-0,396$).

Vahva korrelaatio sen sijaan havaittiin ($r=0,818$, $p=0,001$) tarkasteltaessa sykkeen prosentuaalista osuutta sydämen maksimaalisesta sykintätaajuudesta (%HRmax) 0–10 minuuttia ennen savusukellustestirataa (49 ± 9) ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen (53 ± 7). Vain kahdella palomiehellä syke oli palautunut 30 minuutin kuluttua savusukellusradan jälkeen tasolle, mitä se oli ennen testin alkua.



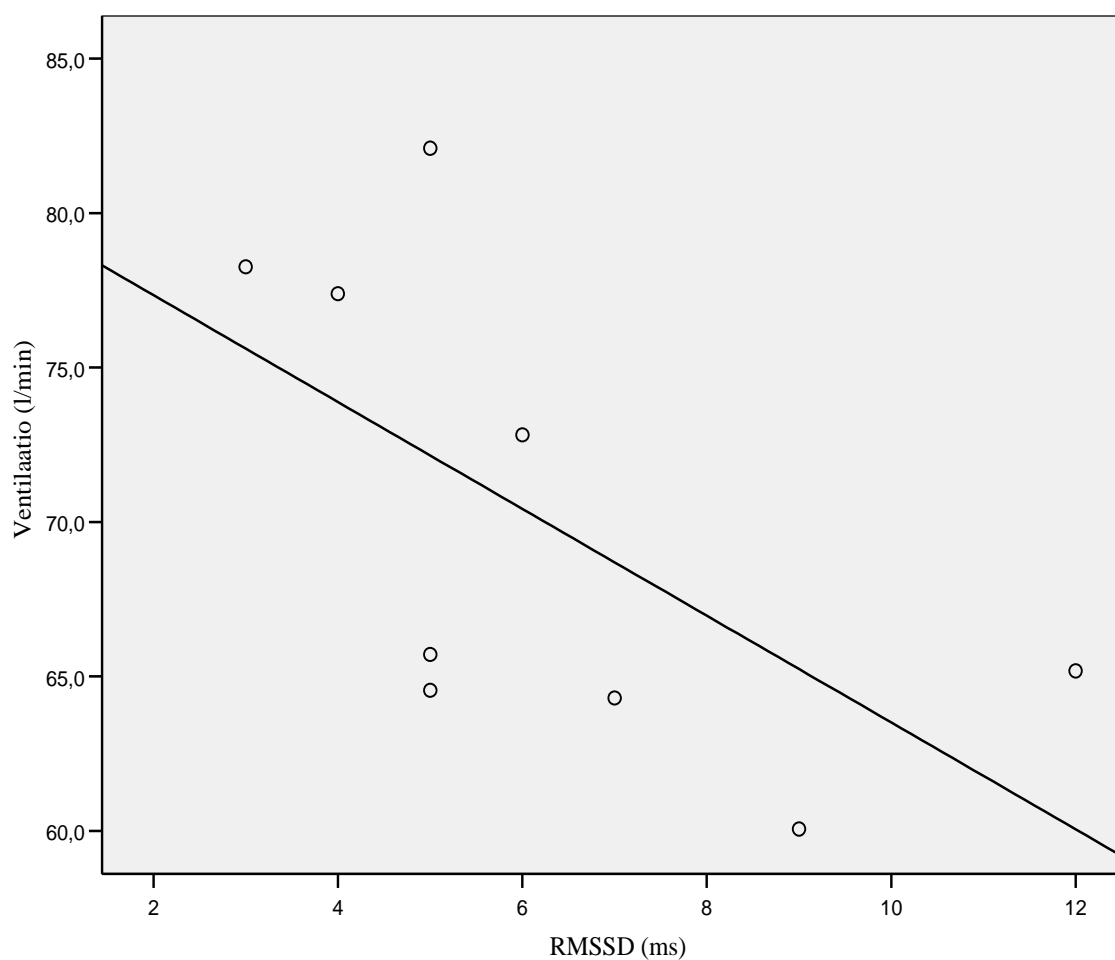
Kuva 11. Sykkeen prosentuaalinen osuus sydämen maksimaalisesta sykintätaajuudesta (%HRmax) ennen savusukellustestirataa ja 28–30 minuuttia savusukellustestiradan jälkeen ($n=12$) ja niiden välinen lineaarinen korrelaatio ($r=0,818$).

Palomiehiltä kysytyn liikunta-aktiivisuuden ja mitatun maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ei ollut tilastollista yhteyttä ($r=-0,032$, $p=0,921$). Liikunta-aktiivisuus palomiehillä oli keskimäärin arvo (7 ± 1), joka vastasi 3–5 tuntia liikuntaa viikossa.



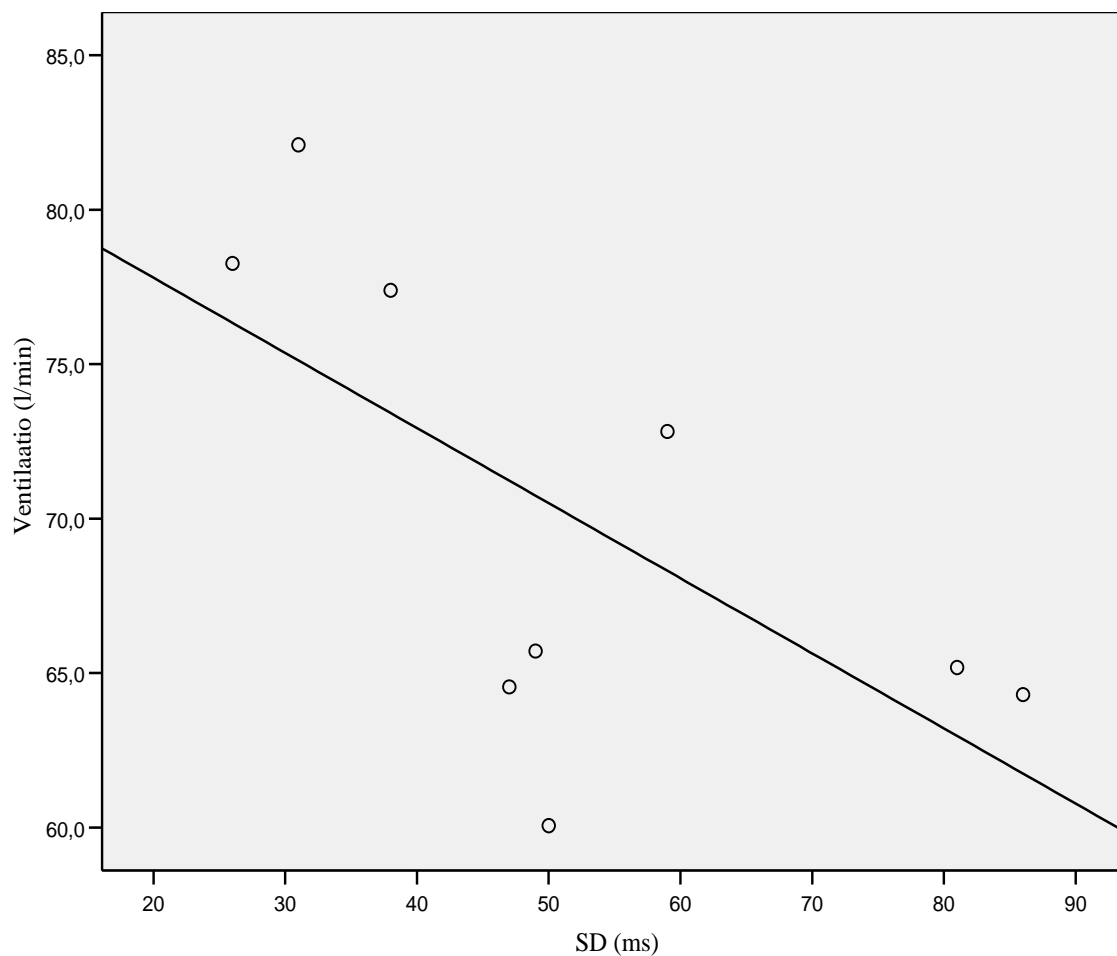
Kuva 12. Liikunta-aktiivisuuden (0–10) ja maksimaalisen hapenottokyvyn (ml/kg/min) välinen korrelaatio (n=12).

Savusukellustestiradalla havaittiin käänteinen korrelaatio ventilaation eli keuhkotuuletuksen ja peräkkäisten sykevälien keskimääräisen vaihtelun (RMSSD) välillä ($r=-0,695$, $p=0,038$).



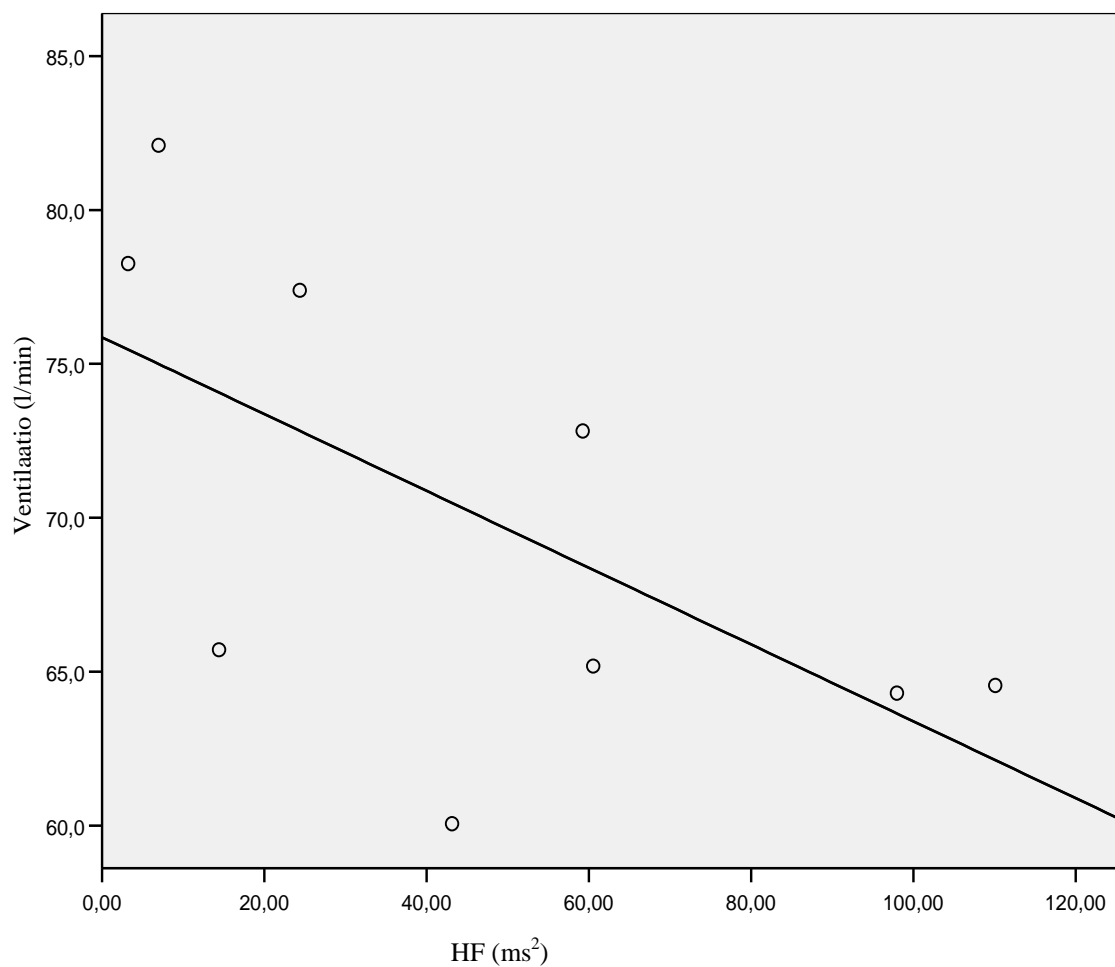
Kuva 13. Ventilaation (l/min) ja peräkkäisten sykevälien keskimääräisen vaihtelun (RMSSD (ms)) välinen lineaarinen korrelaatio ($r=-0,695$) savusukellustestiradalla ($n=9$).

Ventilaation ja sykevälien keskihajonnan (SD) välillä havaittiin myös käänteinen korrelaatio savusukellustestiradalla ($r=-0,717$, $p=0,030$).



Kuva 14. Ventilaation (l/min) ja sykevälien keskihajonnan (SD (ms)) välinen korrelaatio ($r=-0,717$) savusukellustestiradalla ($n=9$).

Savusukellustestiradalla havaittiin käänteinen korrelaatio myös ventilaation ja korkeataajuuksisen sykevälivaihtelun (HF) välillä ($r=-0,733$, $p=0,025$).



Kuva 15. Ventilaation (l/min) ja korkeataajuuksisen sykevälivaihtelun (HF (ms²)) välinen korrelaatio ($r=-0,733$) savusukellustestiradalla (n=9).

6 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon ikääntyvät palomiehet kuormittuvat savusukellustestiradalla ja miten he palautuvat kuormituksesta. Sykevälimuuttujat (RMSSD, SD ja HF), hapenkulutuksen seuranta, ventilaatio sekä EPOC mitattiin Suunnon T6-rannetietokoneella 12:lta ikääntyvältä palomieheltä.

6.1 Savusukellustestiradalla kuormittuminen

Keskimääräinen kuormittuminen prosentteina maksimisykkeestä koko savusukellustestiradalla oli 85 % (vaihteluväli 81–92), joka vastaa hyvin rasittavaa sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumista (85–94 %HRmax) (Louhevaara ym. 1986). Tässä tutkimuksessa mitatut syketasot olivat samaa luokkaa kuin vastaavanikäisillä palomiehillä savusukellustestiradalla Työterveyslaitoksen eri-ikäisten palomiesten terveys- ja toimintakykytutkimuksessa vuonna 1997 (Punakallio ym. 1997a). Korkein koettu kuormittuminen savusukellustestiradalla havaittiin ryömintätehtävässä (RPE 18), joka vastaa Borgin asteikolla (1–20) erittäin rasittavaa koettua kuormitusta. Korkeimmat EPOC-arvot radalla nousivat keskimäärin arvoon 80 (ml/kg) (vaihteluväli 46–144), mikä vastaa kuormitukseltaan raskasta liikuntaa (Borg ym. 2009, 63).

Keskimääräinen hapenkulutus savusukellustestiradalla oli 31,6 ml/kg/min (vaihteluväli 27,6–36,2), joka oli keskimäärin 77 % tutkittavien mitatusta maksimaalisesta hapenkulutuksesta (vaihteluväli 63–93 %). Tämä vastaa hyvin rasittavaa sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumista (75–89 % VO₂max), jolloin suositeltava työskentelyaika on maksimissaan 20–30 minuuttia (Louhevaara ym. 1986). Tämän tutkimuksen keskimääräinen hapenkulutus oli hyvin lähellä hapenkulutuksen arvoja muissa tutkimuksissa, joissa oli mitattu palomiesten kuormittumista erilaisilla testiradoilla ja yksittäisissä tehtävissä (Glendhill & Jamnik 1992; Holmér & Gavhed 2007; Elsnér & Kolkhorst 2008; Williams-Bell ym. 2009; Perroni ym. 2010; Williams-Bell ym. 2010).

Suomessa savusukeltavan palomiehen maksimaalisen hapenkulutuksen minimitasoksi suositellaan 3 l/min ja painoon suhteutettuna 36 ml/kg/min (Pelastussukellusohje 2007, 30). Juuri minimisuositukseen yltävät palomiehet kuormittuvat savusukellustestiradalla keskimäärin 88 % VO_2max :sta, joka vastaa hyvin raskasta sydän- ja verenkiertoelimistön kuormittumista (75–89 % VO_2max). Koska savusukellustestiradalta vielä puuttuvat oikean tulipalon tuoma kuumuus, pelastustilanteen muodostama stressi sekä mahdollisten pelastettavien auttamiseen vaadittava fyysinen kuormitus, on todellinen pelastustilanne erityisesti ikääntyville palomiehille vieläkin kuormittavampi. Tämän vuoksi tulisi palomiesten fyysisen suorituskykytestien raja-arvot olla mielestäni huomattavasti suuremmat. Tällä varmistettaisiin riittävä suorituskyvyn reservi, jotta työn aiheuttamista kuormitushuipuista selvitäisiin liikaa kuormittumatta ja pystyttäisiin työskentelemään palomiehen ammatissa pidempään säilyttäen myös savusukelluskelpoisuus.

Sothmann ym. toteavat, että jos palomiehen maksimaalinen hapenottokyky laskee alle arvon 41 ml/kg/min, palomiehen todennäköisyys selviytyä palo- ja pelastustehtävistä turvallisesti ja tehokkaasti laskee jopa 20 %. Edelleen jos maksimaalinen hapenottokyky pienee alle 33,5 ml/kg/min, laskee selviytyjien osuus jo 50 %:iin. (Sothmann ym. 1990) Myös Louhevaara ym. (1986) toteavat, että 20–30 minuutin paineilmalaitetyöskentely vaatii sydämeltään ja verenkiertoelimistöltään terveen palomiehen ja häneltä vähintään 3,5 l/min:n maksimaalisen hapenottokyvyn. Tämän lisäksi on hyvä myös muistaa, että hyvä sydämen ja verenkiertoelimistön kunto tehostaa ja nopeuttaa tehtävistä suoriutumista (Elsner & Kolkhorst 2008).

Keskimääräinen ventilaatio savusukellustestiradalla oli 70 l/min (vaihteluväli 60–82), ventilaatiohuippujen noustessa arvoon 69 % tutkittavien maksimiventilaatiosta (vaihteluväli 60–93 %). Lusan ym. (1993) tekemässä tutkimuksessa, jossa simuloitiin laivatulipaloa, keskimääräinen ventilaatio palomiehillä oli 54 l/min. Tutkimusten väliseen eroon saattaa vaikuttaa se, että Lusan tutkimukseen osallistuneet palomiehet olivat selvästi nuorempia (19–27v.) kuin tämän tutkimuksen palomiehet (43–55v.). Myös tehtävät ja mittausmenetelmät poikkesivat toisistaan, mikä osaltaan vaikuttaa suhteellisen isoihin eroihin mitatussa ventilaatiossa.

Savusukellustestiradalla havaittiin selvä korrelaatio ventilaation ja sykevälivaihtelumuuttujien (RMSSD, SD, HF) välillä: mitä suurempi oli ventilaatio, sitä pienempi sykevälivaihtelu. Hengityksen kiihtyessä sykevälivaihtelun on huomattu laskevan (Brown, Beightol, Koh & Eckberg 1993). Arai ym. (1989) mm. havaitsivat korkeataajuuksisen sykevälivaihtelun (HF) laskevan progressiivisesti rasituksen tehon kasvaessa.

Peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua kuvaavalla RMSSD-arvolla voidaan elimistön parasympaattisen hermoston aktiivisuuden muutoksia. Pienentyneen sykevariaation on havaittu olevan yhteydessä erilaisiin sydänsairauksiin ja suuren sykevariaation sekä hyvään hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoon. Tässä tutkimuksessa peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD) oli savusukellustestiradalla keskimäärin 6 ms. RMSSD:n vuorokausimittaukselle hyväksyttävänä normaalitasona on esitetty alue 27 ± 12 ms (Task Force 1996). Sykevälien keskihajontaa kuvaava SD-luku oli savusukellustestiradalla keskimäärin 52 ms. SD:n vuorokausimittauksen normaalitasona on esitetty 141 ± 39 ms (Task Force 1996). Yllättävä tulos oli, että SD oli savusukellustestiradalla hieman korkeampi kuin ennen testin alkua (43 ± 12 ms ja 52 ± 20 ms). Korkeataajuisia sykevaihtelua kuvaava HF-luku oli savusukellustestiradalla keskimäärin 47 ms^2 . HF:n vuorokausimittauksille hyväksyttävänä normaalitasona on esitetty $975 \pm 203 \text{ ms}^2$ (Task Force 1996). Kuten edellä kuvatut luvut osoittavat oli sykevälivaihtelu huomattavasti pienempää rasituksen aikana savusukellustestiradalla kuin mitä on esitetty ns. normaalisoiiksi vuorokausimittauksissa.

Useat tutkimukset osoittavat, että sykevälivaihtelu laskee kun, siirrytään levosta fyysiseen kuormitukseen (Brenner ym. 1998; Gregoire ym. 1996; Casadei ym. 1995). Sykevälivaihtelun laskuun vaikuttavat monet tekijät kuten ikä, fyysinen suorituskyky, rasituksen kesto ja teho. Mitään yleisiä raja-arvoja sykevälivaihteluun rasituksessa ei ole olemassa, mutta niin alhaisia luvut savusukellustestiradalla olivat, että kyseessä oli myös sykevälivaihtelulla mitattuna hyvin kuormittava fyysinen suoritus.

Savusukellustestiradalla oleville tehtäville on määritelty maksimisuoritusajat, joiden aikana tehtävät tulee suorittaa. Jos tutkittava suorittaa tehtävän tai tehtävät vakioitua aikaa nope-

ammin, käytetään säästynyt aika palautumiseen seisoen aina kunkin tehtävän lopussa. Tämä vähentää osaltaan myös mitattua kokonaiskuormitusta. Oikeassa pelastustilanteessa vastaaviin taukoihin ei välttämättä ole varaa ja tämän vuoksi savusukellustestiradan tulisi-kin olla myös ikääntyville palomiehille helppo suoritus, jotta oikea pelastustilanne ei aiheuttaisi vaarallisen korkeita kuormitushuippuja. Savusukellustestiradan kuormittavuutta kuvaa myös se, että kaksi tutkittavaa ei läpäissyt savusukellustestirataa ajan sallimissa rajoissa (14,5 min), mutta koska kyseessä oli tutkimustilanne, heidän annettiin suorittaa rata loppuun omaan tahtiin.

6.2 Palautuminen savusukellustestiradan jälkeen

Tässä työssä palautumisen arvioinnissa käytettiin keskisykettä (HR), palautumisjakson sykevälimuuttujia (RMSSD, SD, HF) ja verenpainetta. Keskisyke ei palautunut 30 min aikana testiä edeltävälle tasolle, vaan oli vielä puoli tuntia testin jälkeen keskimäärin yli 9 % korkeampi kuin ennen testiä (84 ± 15 / 92 ± 14 lnt/min). Ennen savusukellustestirataa tutkittavat olivat suorittaneet lämmittelyn (5 min) sekä kehon ja liikkeiden hallintaan liittyviä mittauksia, jotka suoritettiin ensin urheilu- ja tämän jälkeen savusukellusvarustuksessa. Kehon ja liikkeiden hallintaa sisältävät mittaukset kestivät valmisteluineen 30–40 minuuttia. Nämä saattoivat osaltaan hidastaa sykkeen palautumista myös savusukellustestiradan jälkeen. Savusukellustestirataa edeltävät testit osaltaan myös suurensivat sykettä ennen testiä, joten todellinen ero keskisykkeessä ennen testiä ja testin jälkeen olisi jopa suurempi kuin 9 %. Tätä kuvaa myös, että tutkittavien leposyke oli keskimäärin 60 ± 9 krt/min (vaihteluväli 45–76), joka on yli 28 % matalampi kuin ennen savusukellustestirataa mitattu syke.

Sykevälimuuttujat (RMSSD, SD, HF) eivät myöskään palautuneet 30 minuutin aikana testiä edeltävälle tasolle. Peräkkäisten sykevälien keskimääräinen vaihtelu (RMSSD) oli yli 38 %, sykevälien keskihajonta (SD) 34 % ja korkeataajuuksisen (HF) sykevälivaihtelun luvut (ei ln muunnellut) yli 56 % matalampia vielä 30 minuuttia testin jälkeen verrattuna ennen testiä mitattuihin arvoihin. Ikääntymisen seurauksena sykevälivaihtelun on todettu vähenevän (mm. Zhang 2007; Umetani ym. 1998; Jensen-Urstad ym. 1997) ja palautumi-

sen hidastuvan (Armstrong ym. 2011). Tämän vuoksi tulevaisuudessa palomiehille tulisi määrittellä iän mukaan muuttuvat suositukset palautumisen pituudesta savusukellustehtävän jälkeen.

Palautuminen on riippuvainen suorituksen kuormittavuudesta (Borresen & Lambert 2008). Kevyemmän harjoituksen (50 % VO_2max) jälkeen sykevälivaihtelu palasi rasitusta edeltävälle tasolle 15 minuutin kuluessa harjoituksen päättymisestä (Brenner ym. 1998), kun taas kuormittavamasta harjoituksesta (70 % VO_2max) palautuminen kesti yli 30 minuuttia (Javorka ym 2002). Maksimaalisen testin (VO_2max) jälkeen sykevälivaihtelu palautui takaisin lähtötasolle 24 -tunnin aikana testin jälkeen (Armstrong ym. 2011).

Testattavien kuormittuminen savusukellustestiradalla oli samaa luokkaa kuin Javorkan (2002) tekemässä tutkimuksessa (77 / 70 % VO_2max), myös palautuminen kesti molemmissa tutkimuksissa yli 30 minuuttia. Sykevälimuuttujissa yksilöiden väliset erot osoittautuivat huomattavan suuriksi. Savusukellustestiradan tehtävissä tapahtuvat liikkeet esimerkiksi ryöminnän aikana aiheuttivat jonkin verran virheitä mittauksien aikana (sykevyön mahdollinen liikkuminen). Liian korkeiden virheprosenttien takia savusukellustestiradalla tutkittavien kokonaismäärä jäi yhdeksään tutkittavaan.

Tutkittavien systolinen verenpaine (BPs) palautui viidessä minuutissa takaisin ennen testiä mitattuihin arvoihin (140 ± 15 mmHg / 139 ± 14 mmHg). Diastolinen verenpaine (BPd) ei muuttunut viidessä minuutissa tilastollisesti merkittävästi verrattuna ennen testiä mitattuihin arvoihin (92 ± 8 mmHg / 88 ± 10 mmHg), mutta oli 4 mmHg pienempi kuin ennen testiä. Systolinen paine suurenee dynaamisen lihastyön aikana ja diastolinen paine ei yleensä juuri muutu. Heti liikuntasuorituksen jälkeen verenpaine yleensä laskee (postexercise hypotension) hyvin nopeasti usein pienemmäksi kuin lähtötaso (Kenney & Seals 1996).

Pelastussukellusohje suosittelee savusukelluksen jälkeen 20–30 minuutin palautumistaukoa ennen uutta sukellusta (Pelastussukellusohje 2007, 14). Pelastussukellusohjeen mukainen

tauko sukellusten välissä ei näyttäisi riittävän ikääntyvien palomiesten kohdalla takaamaan täydellistä palautumista. Tätä tukee myös Oksan ym. (2009) havainto siitä, että lihasten palautuminen palomiesten työtä simuloivista tehtävistä kestää mitatusta suureesta riippuen yhdestä tunnista yli 30 tuntiin. Työn aiheuttama väsyminen heikentää lihasvoimaa ja lihaskoordinaatiota sekä vähentää maksimaalista voimantuottoa. Lihäsväsymystä voidaan pitää yhtenä työturvallisuutta heikentävänä tekijänä. Tulevaisuudessa palautumisen eroja olisi mielenkiintoista verrata oikean pelastustilanteen aiheuttaman kuormituksen ja siitä palautumiseen.

6.3 Tutkimuksen arviointi

Tämän tutkimuksen hypoteeseina oli, että i) hyvä mitattu kestävyyskunto on yhteydessä nopeampaan palautumiseen ja ii) ennen testiä mitatulla sykevälivaihtelulla ja palautumisen aikana mitatulla sykevälivaihtelulla on positiivinen korrelaatio. Hyvän mitatun kestävyyskunnan ei havaittu olevan yhteydessä nopeampaan palautumiseen, eikä ennen testiä ja testin jälkeen mitatulla sykevälivaihtelulla näyttänyt olevan positiivista korrelaatiota. Ennen savusukellustestirataa tutkittavat olivat suorittaneet lämmittelyn sekä kehon ja liikkeiden hallintaan liittyviä mittauksia, jotka saattoivat osaltaan vaikuttaa siihen, että positiivista korrelaatiota ei löytynyt. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin selvät tilastolliset merkitsevyydet, kun tarkasteltiin sykkeen ja sykevälimuuttujien palautumista savusukellustestiradan jälkeen. Päätuloksena voidaan pitää sitä, että iäkkäät palomiehet eivät palaudu testiä edeltävälle tasolle 30 minuutin aikana testin päättymisestä. Tämä antaa aihetta pohtia myös ikääntyvien palomiesten työtehtäviä ja savusukelluksen jälkeistä palautumisaikaa.

Tutkimuksen luotettavuuden parantamiseksi olisin kaivannut suurempaa tutkittavien määrää. Tutkimus oli osa Työterveyslaitoksen laajaa seurantatutkimusta eikä tämän vuoksi päässyt itse vaikuttamaan tutkittavien määrään. Aineiston analysoinnissa käytin lähinnä parametrittomia testejä, koska parametrittomia testejä suositellaan käytettäväksi silloin, kun otoskoko on pieni, esimerkiksi pienempi kuin 15. Parametrittomien testien on havaittu myös olevan luotettavampia pienillä otosko'oilla (Metsämuuronen 2009).

Suunnon T6-rannetietokone on todettu tutkimuksissa luotettavaksi mitattaessa sykeväli-vaihtelua (Weippert ym. 2010) ja sitä on käytetty myös muissa tieteellisissä tutkimuksissa (Sookan & McKune 2011; Roy, Boucher & Comtois 2009). Sykemittauksissa käytin T6-rannetietokonetta ja rinnan ympärille asennettavaa sykepantaa, joka osoittautui varsin her-käksi virheille. Mittauksissa tulleiden liian suurien virheiden määrien takia yksi tutkittava jouduttiin kokonaan poistamaan, joka pienensi jo ennestään pientä tutkittavien joukkoa. Jatkotutkimuksissa sykevyön sijasta olisikin suositeltavaa käyttää ihoon kiinnitettäviä elektrodeja, jolloin mittaus virheiden määrät jäisivät vähäisimmiksi tai poistuisivat mah-dollisesti kokonaan. Tämä parantaisi osaltaan myös sykeväli vaihtelumuuttujien luotetta-vuutta.

Henkilöiden liikunta-aktiivisuuden määrittelyssä käytettiin Hyvinvointianalyysin aktii-visuusluokka kyselyä asteikolla 0–10. Keskiarvoksi saatiin 7, joka vastaa säännöllistä lii-kuntaa 3–5 kertaa viikossa, johon käytettävä aika oli yhteensä 3–5 tuntia. Liikunta-aktiivisuuden ja mitatun maksimaalisen hapenottokyvyn välillä ei havaittu tilastollista yh-teyttä. Tähän vaikutti osaltaan suhteellisen pienet erot tutkittavien aerobisessa kunnossa (37–48 ml/kg/min). Paremman kuvan henkilön todellisesta liikunnan määrästä saisi esi-merkiksi kiihtyvyysanturitekniikkaan perustuvilla mittareilla kuin pelkillä kyselyillä. Näin mahdolliset virheet liikunnan määrästä vähenisivät ja tämä mahdollistaisi myös huomatta-vasti paremman liikunnan tehon seurannan. Tarkempi tieto testattavien liikunta-aktiivisuudesta antaisi myös arvokasta tietoa palomiehille suositeltavasta liikunnasta ja sen hyödyistä.

Savusukellusta jäljittelevä testirata (Oulun malli) kuvasi mielestäni hyvin palomiehen tyy-pillisiä työtehtäviä savusukelluksen aikana. Testirata on suunniteltu siten, ettei sen suorit-taminen vaadi maksimaalista fyysistä ponnistelua, jos pelastajan hengitys- ja verenkie-toelimistön kunto on vähintään keskinkertainen (Pelastussukellusohje 2007, 23). Iäkkäillä palomiehillä testirata vaati lähes maksimaalista ponnistelua ja sen läpäiseminen ei ollut helppoa, vaikka kaikki tutkittavat ylittivät laboratoriossa tehdyissä testeissä savusukeltavan palomiehen maksimaalisen hapenkulutuksen minimitason. Tämän vuoksi erilaiset työtä simuloivat testit soveltuvat mielestäni paremmin työtehtävissä vaadittavan kunnan määrit-tämiseen kuin pelkät laboratoriomittaukset.

Testitilana käytetty paloaseman tyhjä ajoneuvohalli toimi savusukellustestiradan osalta hyvin ja samalla se oli palomiehille tuttu toimintaympäristö. Palautumista mitattaessa käytäisiin jatkossa kuitenkin jotain erillistä tilaa, joka olisi täysin rauhoitettu. Toisaalta palo- ja pelastustilanteessa palautuminen savusukellusten välissä tapahtuu palopaikalla, joten paloasema testitilana oli toisaalta lähempänä todellisuutta kuin esimerkiksi laboratorioolosuhteet.

6.4 Jatkotutkimusaiheita

Savusukellustestirata osoittautui ikääntyville palomiehille raskaaksi suoritukseksi. Jatkossa olisi mielenkiintoista tehdä tutkimus todellisessa pelastustilanteessa, missä läsnä ovat myös kuumuus ja tilanteen aiheuttama henkinen paine. Vuoden 2011 aikana pelastuslaitoksilla on otettu käyttöön pelastajien sähköinen fyysisen toimintakyvyn arviointi- sekä palautteenanto- ja seurantajärjestelmä FireFit (Lusa ym. 2010). Seurantajärjestelmän avulla pystytään tarkemmin seuraamaan kunnon kehitystä ja antamaan täsmällisempiä harjoitusohjelmia. Ikääntyvistä palomiehistä yhä harvempi täyttää pelastussukellukselle vaadittavat vähimmäissuosituksot. Tämän vuoksi kunnon seuranta ja sen kehittäminen on äärimmäisen tärkeää. Jatkossa olisi mielenkiintoista tutkia tähän tarkoitukseen kehitetyn järjestelmän (FireFit) toimivuutta ja saavutettuja käytännön tuloksia.

Sisäasiainministeriön julkaisemassa pelastuslaitosten ja -henkilöstön toimintakykyhankkeessa todetaan, että pelastustoimen koulutusta tulisi muuttaa siten, että palomiehen ura alkaisi hyvää fyysistä toimintakykyä edellyttävistä tehtävistä. Tämän jälkeen hyödynnettäisiin ne tehtävät, joissa henkilöstö pystyy myös ikääntyessään toimimaan. (Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009, 46) Jatkossa olisi mielenkiintoista myös selvittää, mihin tehtäviin ikääntyvät palomiehet päätyvät ja miten palomiehen urapolku rakentuu.

Käytössä olevien sammutusmenetelmien rinnalle kehitetään myös jatkuvasti uusia (Jäntti, Loponen & Miettinen 2009), jotka mahdollisesti myös vähentävät savusukelluksen kuormitusta. Onko uudesta teknologiasta tulevaisuudessa apua myös vähentämään palomiesten fyysistä kuormitusta, vai olisiko savusukelluksesta tehtävä ns. erikoistehtävä, jota suorittai-

sivat vain siihen selvästi fyysisiltä ominaisuuksiltaan kykenevät palomiehet? Näitä asioita on syytä varmasti jatkossa pohtia, sillä palomiesten ikääntyessä ja kunnan heikentyessä on fyysisiltä ominaisuuksiltaan hyväkuntoisten palomiestenkin löytäminen yhä vaikeampaa tai ainakin näihin asioihin on kiinnitettävä yhä aikaisemmin huomiota.

6.5 Johtopäätökset

Savusukellustestirata kuormittaa ikääntyviä palomiehiä tavalla, joka vastaa hyvin rasittavaa sydämen ja verenkiertoelimistön kuormittumista. Tutkittavat myös palautuvat hitaasti savusukellustestiradan aiheuttamasta rasituksesta. Sykkeen ja sykevälivaihtelumuuttujien palautuminen kestää useimmilla yli 30 minuuttia. Täydellisen palautumisen selvittämiseksi on jatkotutkimuksissa palautumisen seuranta-aikaa selvästi pidennettävä puolesta tunnista useaan tuntiin. Myös pelastussukellusohjeen mukaisesta taukoa (20–30 minuuttia) savusukellusten välissä tulisi muuttaa niin, että se ottaisi huomioon eri-ikäiset palomiehet. Vaikka kaikki tutkittavat ylittivät savusukeltavan palomiehen maksimaalisen hapenkulutuksen minimitason, eivät kaikki kuitenkaan läpäisseet savusukellustestirataa ajan sallimisrajoissa. Tämän vuoksi maksimaalisen hapenkulutuksen minimivaatimuksia olisi erittäin tärkeää nostaa palo- ja pelastustilanteen turvallisuuden takaamiseksi. Ikääntyvien palomiesten on myös itse huolehdittava omasta fyysisestä kunnostaan koko työuransa ajan niin, että he kykenevät vastaamaan ammattinsa tuomiin haasteisiin.

LÄHTEET

Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003. Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports medicine* 33(7): 517-538.

Amelsvoort, L.G.P.M., Schouten, E.G., Maan, A.C., Swenne, C.A. & Kok, F.J. 2000. Occupational determinants of heart rate variability. *International archives of occupational and environmental health* 73(4): 255-262.

Arai, Y., Saul, J.P., Albrecht, P., Hartley, L.H., Lilly, L.S., Cohen, R.J. & Collucci, W.S. 1989. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *The American journal of physiology* 256 (1 Pt 2): 132-141.

Armstrong, R.G., Kenny, G.P., Green, G. & Seely A.J.E. 2011. Diurnal variation in heart rate variability before and after maximal exercise testing. *Chronobiology international* 28(4): 344-351.

Baker, S.J., Grice, J., Roby, L. & Matthews, C. 2000. Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. *Ergonomics* 43(9): 1350-1358.

Barantke, M., Krauss, T., Ortak, J., Lieb, W., Reppel, M., Burgdorf, C., Pramstaller, P.P., Schunkert, H. & Bonnemeier, H. 2008. Effects of gender and aging on differential autonomic responses to orthostatic maneuvers. *Journal of cardiovascular electrophysiology* 19(12): 1296-1303.

Beckers, F., Verheyden, B. & Aubert, A.E. 2006. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology* 290(6): H2560-H2570.

Bigger, J.T, Fleiss, J.L, Steinman, R.C., Rolnitzky, L.M., Schneider, W.J. & Stein, P.K. 1995. RR variability in healthy, middle-aged persons compared with patients with chronic coronary heart disease or recent acute myocardial infarction. *Circulation* 91(7): 1936-1943.

Bilzon, J.L.J., Scarpello, E.G., Smith, C.V., Ravenhill, N.A. & Rayson, M.P. 2001. Characterization of the metabolic demands of simulated shipboard royal navy firefighting tasks. *Ergonomics* 44(8): 766-780.

Bjålie, J.G., Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø.V. & Toverud, K.C. 2008. Ihminen fysiologia ja anatomia. Helsinki: WSOY.

Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V., Apicella, C., Ianniciello, A., Romano, M., Breglio, R. & Marciano, F. 1998. Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine and science in sport and exercise* 30(5): 691-696.

Borresen, J. & Lambert, M.I. 2008. Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports medicine* 38(8): 633-646.

Borg, G., 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise* 14(5): 377-381.

Borg, P., Järvinen, H., Kaikkonen, T., Kanervo, M., Kettunen, J., Kotisaari, J., Martinmäki, K., Pulkkinen, A., Rusko, H., Saalasti, S., Seppänen, M. & Tuominen, S. 2009. Hyvintiantalyysi käsikirja versio 3.1. Firstbeat Technologies Oy.

Bos, J., Mol, E., Visser, B. & Frings-Dresen, M.H.W. 2004. The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics* 47(4): 446-460.

Brenner, I., Thomas, S. & Shephard, R.J. 1998. Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. *Sports Medicine* 26(2): 85-99.

Brown, TE., Beightol, LA., Koh, J. & Eckberg, DL. 1993. Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. *Journal of applied physiology* 75(5): 2310-2317.

Børsheim, E. & Bahr, R. 2003. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine* 33(14): 1037-1060.

Casadei, B., Cochrane, S., Johnston, J., Conway, J. & Sleight, P. 1995. Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta physiologica scandinavica* 153(2): 125-131.

Cavallari, J.M., Fang, S.C., Mittleman, M.A. & Christiani, D.C. 2010. Circadian variation of heart rate variability among welders. *Occupational and environmental medicine* 67(10): 717-719.

Dreger, R.W., Jones, R.L. & Petersen, S.R. 2006. Effects of the self-contained breathing apparatus and fire protective clothing on maximal oxygen uptake. *Ergonomics* 49(10): 911-920.

Elsner, K.L. & Kolkhorst, F.W. 2008. Metabolic demands of simulated firefighting tasks. *Ergonomics* 51(9): 1418-1425.

Feld T., Kinnunen U., Rönkä T., Kinnunen M-L. & Rusko, H. 2007. Työkuormituksesta palautuminen ja sen mittaaminen: Psykologinen ja fysiologinen näkökulma. Teoksessa Aro A., Feldt T. & Ruohomäki V. (toim.) Puheenvuoroja työ- ja organisaatiopsykologiasta. Helsinki: Edita, 60-78.

Fogelholm, M., Lindholm, H., Lusa, S., Miilunpalo, S., Moilanen, J., Paronen, O. & Saari-
nen, K. 2007. Tervettä liikettä – terveysliikunnan hyvät käytännöt työterveyshuollossa.
Helsinki: Työterveyslaitos

Fullerton, C., McCarrol, J.E., Ursano, R. & Wright, K.M. 1992. Psychological responses of
rescue workers: Fire fighters and trauma. *American Journal of Orthopsychiatry* 62(3): 371-
378.

Gladwell, V.F., Sandercock, G.R.H. & Birch, S.L. 2010. Cardiac vagal activity following
three intensities of exercise in humans. *Clinical physiology and functional imaging* 30(1):
17-22.

Glendhill, N. & Jamnik, V.K. 1992. Characterization of the physical demands of fire-
fighting. *Canadian journal of sport sciences* 17:(3) 207-213.

Goldberger, J.J, Challapalli, S., Tung, R., Parker, M.A. & Kadish, A.H. 2001. Relationship of heart rate variability to parasympathetic effect. *Circulation* 103(15): 1977-1983.

Gregoire, J., Tuck, S., Yamamoto, Y. & Hughson, RL. 1996. Heart rate variability at rest and exercise: influence of age, gender, and physical training. *Canadian journal of applied physiology* 21(6): 455-470.

Grund, A., Krause, H., Kraus, M., Siewers, M., Rieckert, H. & Müller, MJ. 2001. Association between different attributes of physical activity and fat mass in untrained, endurance- and resistance-trained men. *European journal of applied physiology* 84(4): 310-320.

Guyton, A.C. & Hall, J.E. 2011. *Text book of medical physiology*. 12. painos. Saunders, Philadelphia.

Hayano, J. Sakakibara, Y., Yamada, A., Yamada, M., Mukai, S., Fujinami, T., Yokoyama, K., Watanabe, Y. & Takata, K. 1991. Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *The american journal of cardiology* 67(2): 199-204.

Holmér, I. & Gavhed, D. 2007. Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. *Applied ergonomics* 38(1): 45-52.

Hyttinen, V., Tolonen, P. & Väisänen, T. 2007. *Palofysiikka*. Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö.

Ilmarinen, R. 2005. Liikunta kuumassa. Teoksessa Vuori, I., Taimela, S. & Kujala, U. (toim.) *Liikuntalääketiede*. Helsinki: Duodecim, 215-232.

Jackson, A., Blair, S., Mahar, M., Weir, L., Ross, R. & Stuteville, J. 1990. Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22(6):863-870.

Javorka, M., Zila, I., Balhárek, T. & Javorka, K. 2002. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Brazilian journal of medical and biological research* 35(8): 991-1000.

Jensen-Urstad, K., Storck, N., Bouvier, F., Ericson, M., Lindblad, L.E. & Jensen-Urstad M. 1997. Heart rate variability in healthy subjects is related to age and gender. *Acta physiologica scandinavica* 160(3): 235-241.

Jäntti, J., Lopenen, T., & Miettinen, P., 2009. Selvitys vaihtoehtoisten sammutusmenetelmien copran ja DSPA soveltuvuudesta huoneistopalon sammutukseen, sammutuskokeiden tulokset Pelastusopiston testausympäristössä. Pelastusopiston julkaisu B-sarja: Tutkimusraportit 4/2009. Saatavilla osoitteesta: <http://toimintakyky.pelastustoimi.net/raportit> (luettu 7.1.2011)

Kenney, M. & Seals DR. 1993. Postexercise hypotension. Key features, mechanisms, and clinical significance. *Hypertension* 22(5): 677-678.

Laitinen, T. & Hartikainen, J. 2003. Autonomisen hermoston rakenne ja toiminta. Teoksessa Sovijärvi, A., Ahonen, A., Hartiala, J., Länsimies, E., Savolainen, S., Turjanmaa, V. & Vanninen, E. (toim.) *Klininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Helsinki: Duodecim, 88-93.

Laitio, T., Scheinin, H., Kuusela, T., Mäenpää, M. & Jalonen, J. 2001. Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo? *Finnanest* 34(3): 249-255.

Lemon, P.W.R. & Hermiston, R.T. 1977. Physiological profile of professional fire fighters. *Journal of occupational medicine* 19(5): 337-340.

Lewis, MJ. 2005. Heart rate variability analysis: A tool to asses cardiac autonomic function. *Computers, informatics, Nursing* 23(6): 335-341.

Liao, D., Barnes, R.W., Chambless, L.E., Simpson, R.J., Sorlie, P. & Heiss, G. 1995. Age, race and sex differences in autonomic cardiac function measured by spectral analysis of heart rate variability: the ARIC study. *Atherosclerosis risk in communities. The american journal of cardiology* 76(12): 906-912.

Lindholm, H., Lindqvist-Virkamäki, S., Lusa S., Punakallio, A., Ilmarinen R. & Mäkinen, H. 2009. Pelastushenkilöstön terveystarkastukset – hyvät käytännöt. Helsinki: Työterveyslaitos.

Lindholm, H., Sala, R. & Mattila, S. 2004. Toimintakyvyn arviointi sydän- ja verisuonisairauksissa. Teoksessa Matikainen, E., Aro, T., Huunanen-Seppälä, A., Kivekäs, J., Kujala, S. & Tola, S. (toim.) *Toimintakyky arviointi ja kliininen käyttö*. Helsinki: Duodecim, 36-42.

Lindström, K., Elo, A-L., Kandolin, I., Ketola, R., Lehtelä, J., Leppänen, A., Lindholm, H., Rasa, P-L., Sallinen, M. & Simola, A. 2002. *Työkuormitus ja sen arviointimenetelmät*. Helsinki: Työterveyslaitos.

Loimaala, A., Huikuri, H., Oja, P., Pasanen, M. & Vuori, I. 2000. Controlled 5-mo aerobic training improves heart rate but not heart rate variability or baroreflex sensitivity. *Journal of applied physiology* 89(5): 1825-1829.

Lombardi, F. 2002. Clinical implications of present physiological understanding of HRV components. *Cardiac electrophysiology review* 6(3): 245-249.

Louhevaara, V., Ilmarinen, R., Griefahn, B., Künemund, C. & Mäkinen, H. 1995. Maximal physical work performance with European standard based fire-protective clothing system and equipment in relation to individual characteristics. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 71(2-3): 223-229.

Louhevaara, V., Soukainen, J., Lusa, S., Tulppo, M., Tuomi, P. & Kajaste, T. 1994. Development and evaluation of a test drill for assessing physical work capacity of fire-fighters. *International journal of industrial ergonomics* 13(2): 139-146.

Louhevaara, V. & Smolander, J. 1997. Työfysiologian haaste ergonomiassa: Hyväksyttävä fyysinen työkuormitus. *Työterveiset* 2: 20-22.

Louhevaara, V., Smolander, J., Korhonen, O. & Tuomi, T. 1986. Maximal working times with a self-contained breathing apparatus. *Ergonomics* 29 (1): 77-85.

Louhevaara, V., Tuomi, T., Korhonen, O. & Jaakkola, J. 1984. Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 52(3): 340-345.

Louhevaara, V., Tuomi, T., Smolander, J., Korhonen, O., Tossavainen, A. & Jaakkola, J. 1985a. Cardiorespiratory strain in jobs that require respiratory protection. *International archives of occupational and environmental health* 55(3): 195-206.

Louhevaara, V., Smolander, J., Tuomi, T., Korhonen, O. & Jaakkola, J. 1985b. Effects of an SCBA on breathing pattern, gas exchange, and heart rate during exercise. *Journal of occupational medicine* 27(3): 213-216

Lusa, S. 1994. Job demands and assessment of the physical work capacity of fire fighters. University of Jyväskylä. Studies in sports, physical education and health. Väitöskirja 33.

Lusa, S., Louhevaara, V. & Kinnunen, K. 1994. Are the job demands on physical work capacity equal for young and aging firefighters? *Journal of occupational medicine* 36(1): 70-74.

Lusa, S., Louhevaara, V., Smolander, J., Kinnunen, K., Korhonen, O. & Soukainen, J. 1991. Biomechanical evaluation of heavy tool-handling in two age groups of firemen. *Ergonomics* 34(12): 1429-1432.

Lusa, S., Louhevaara, V., Smolander, J., Kivimäki, M. & Korhonen, O. 1993. Physiological responses of firefighting students during simulated smoke-diving in the heat. *American industrial hygiene association journal* 54(5): 228-231.

Lusa, S., Tulppo, M., Tuomi, P., Kajaste, T. & Louhevaara, V. 1992. Palomiesten toistotesteillä mitattu lihaskunto ja liikunnallinen taito. Teoksessa Louhevaara, V. & Lusa, S. (toim.) Palomiesten työkyvyn arviointi. Fyysiset toimintakykytestit ja terveystarkastukset. Työterveyslaitos, Helsinki 20-24.

Lusa, S., Wickström, M., Punakallio, A., Lindholm, H. & Luukkonen R. 2010. FireFit – Pelastajien hyvän fyysisen toimintakyvyn arviointikäytäntö. Kehittämishanke 2. vaihe. Palosuojelurahaston loppuraportti. Työterveyslaitos. Saatavilla osoitteesta: http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/FireFit2vaihe_loppuraportti.pdf (luettu 28.2.2012)

Lusa-Moser, S., Punakallio, A., Louhevaara, V., Viikari-Juntura, E., Ilmarinen, R., Ollila, J., Korhonen O., Lindqvist-Virkamäki, S. & Luukkonen, R. 1997. Eri-ikäisten palomiesten terveys ja toimintakyky. Osa 1: Kyselytutkimus. Ikääntyvä arvoonsa työterveyden, työkyvyn ja hyvinvoinnin edistämishjelman julkaisuja 30. Helsinki: Työterveyslaitos.

Mallini, A., Pagani, M., Lombardi, F. & Cerutti, S. 1991. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 84(2): 482-492.

Massin, M.M., Maeyns, K., Withofs, N., Ravet, F. & Gérard, P. 2000. Circadian rhythm of heart rate and heart rate variability. *Archives of disease in childhood* 83(2): 179-182.

Mendonca, G.V., Heffernan, K.S., Rossow, L., Guerra, M., Pereira, F.D. & Fernhall, B. 2010. Sex differences in linear and nonlinear heart rate variability during early recovery from supramaximal exercise. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 35(4): 439-446.

Metsämuuronen, J. 2009. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. Jyväskylä: Gummerus.

Myllyniemi, P. 2000. Onnettomuusriskit hallintaan – loppuraportti. Sisäasiainministeriö pelastusosasto. Saatavilla osoitteesta: <http://www.pelastustoimi.fi/media/raportit/selvitysmies/raportti.html?keyword=ensivaste#firstHit> (luettu 1.1.2011)

Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. Porvoo: WSOY.

Nolan, J., Batin, PD., Andrews, R., Lindsay, SJ., Brooksby, P., Mullen, M., Baig, W., Flapan, AD., Cowley, A., Prescott, RJ., Neilson, JM. & Fox, KA. 1998. Prospective study of heart rate variability and mortality in chronic heart failure. Results on the United Kingdom heart failure evaluation and assessment of risk trial (UK-Heart). *Circulation* 98(15): 1510-1516.

O'Connell, E.R., Thomas, P.C., Cady, L.D. & Karwasky, R.J. 1986. Energy costs of simulated stair climbing as a job-related task in fire-fighting. *Journal of occupational medicine* 28(4): 282-284.

Oksa, J., Rissanen, S., Mäkinen, T., Takatalo, K., Hyrkäs, H., Lusa, S., Lindholm, H. & Rintamäki, H. 2009. Lihas- toimintakyvyn turvaaminen kuumatyössä: Kuormituksen, väsymyksen ja työstä palautumisen arviointi, Pelastussuojelurahaston loppuraportti. Työ- terveystietokeskus. Saatavilla osoitteesta: <http://toimintakyky.pelastustoimi.net/raportit> (tulostettu 3.1.2011)

Pelastuslaki 468/2003. Saatavilla osoitteesta: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2003/20030468> (luettu 10.12.2010)

Pelastussukellusohje. Sisäasiainministeriön julkaisuja 48/2007. Saatavilla osoitteesta: [http://www.intermin.fi/intermin/biblio.nsf/.../\\$file/482007.pdf](http://www.intermin.fi/intermin/biblio.nsf/.../$file/482007.pdf) (luettu 25.8.2010)

Pelastustoimen resurssi- ja toimenpidetilasto PRONTO. 2010.

Perroni, F., Tessitore, A., Cortis, C., Lupo, C., D'Artibale, E., Cignitti, L. & Capranica, L. 2010. Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *Journal of strength and conditioning research* 24(12): 3457-3463.

Punakallio, A., Louhevaara, V., Lusa-Moser, S. & Luukkonen, R. 1997a. Eri-ikäisten palomiesten terveys ja toimintakyky. Osa 3: Tutkimus savusukellusvarustuksessa. Ikääntyvä arvoonsa työterveyden, työkyvyn ja hyvinvoinnin edistämishjelman julkaisuja 32. Helsinki: Työterveyslaitos.

Punakallio, A. & Lusa, S. (toim.) 2011. Eri-ikäisten palomiesten terveys ja toimintakyky: 13 vuoden seurantatutkimus. Helsinki: Työterveyslaitos. Saatavilla osoitteesta: http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Palomiesten_terveys.pdf (tulostettu 10.1.2012)

Punakallio, A., Lusa, S. & Luukkonen, R. 2003. Protective equipment affects balance abilities differently in younger and older firefighters. *Aviation, space and environmental medicine* 74(11): 1151-1156.

Punakallio, A., Lusa-Moser, S., Louhevaara, V., Korhonen, O. & Luukkonen, R. 1997b. Eri-ikäisten palomiesten terveys ja toimintakyky. Osa 2: Fyysinen toimintakyky suhteessa työn vaatimuksiin ja yksilöllisiin ominaisuuksiin. Ikääntyvä arvoonsa työterveyden, työkyvyn ja hyvinvoinnin edistämishjelman julkaisuja 31. Helsinki: Työterveyslaitos.

Richardson, J.E. & Capra, M.F. 2001. Physiological responses of firefighters wearing level 3 chemical protective suits while working in controlled hot environments. *Journal of occupational and environmental medicine* 43(12): 1064-1072.

Roy, R.A., Boucher, J.P. & Comtois, A.S. 2009. Heart rate variability modulation after manipulation in pain-free patients vs patients in pain. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 32(4): 277-286.

Rusko, H.K., Pulkkinen, A., Saalasti, S., Hynynen, E. & Kettunen, J. 2003. Pre-prediction on EPOC: A tool for monitoring fatigue accumulation during exercise? ACSM Congress, San Francisco, May 28-31, 2003. Saatavilla osoitteesta: <http://www.firstbeat.fi/fi/osaaminen/tutkimus-ja-julkaisut/julkaisulista> (luettu 19.5.2011)

Saari, P. 2010. Mistä kuntatyöntekijöiden lisääntyneet eläkeaikomukset johtuvat? Teoksessa: Forma, P., Harkonmäki, K., Saari, P. & Väänänen, J. (toim.) Ketkä tekevät kuntatyön tulevaisuudessa? Helsinki: Kuntien eläkevakuutus, 61-74.

Selkirk, G.A. & McLellan, T.M. 2004. Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments. *Journal of occupational and environmental hygiene* 1(4): 199-212.

Sheaff, A.K., Bennett, A., Hanson, E.D., Kim, Y-S., Hsu, J., Shim, J.K., Edwards, S.T. & Hurley, B.F. 2010. Physiological determinants of the candidate physical ability test in firefighters. *Journal of strength and conditioning research* 24(11): 3112-3122.

Sisäasiainministeriön julkaisuja 32/2008. Pelastushenkilöstön mitoitus ja suorituskyky. Saatavilla osoitteesta: <http://toimintakyky.pelastustoimi.net/raportit> (luettu 25.11.2010)

Sisäasiainministeriön julkaisuja 39/2009. Pelastuslaitosten ja -henkilöstön toimintakyky-hanke loppuraportti. Saatavilla osoitteesta: <http://toimintakyky.pelastustoimi.net/raportit> (luettu 25.11.2010)

Soinila, J. & Launes, J. 2006. Ääreishermot ja niiden sairaudet. Teoksessa S. Soinila, M. Kaste & H. Somer (toim.) *Neurologia*. Helsinki: Duodecim, 501-520.

Sookan, T. & Mckune, A.J. 2011. Heart rate variability in physically active individuals: reliability and gender characteristics. *Cardiovascular journal of Africa* 25(22): 1-7.

Sothmann, M.S., Saupe, K., Jasenof, D., Blaney, J., Fuhrman, S.D., Woulfe, T., Raven, P.B., Pawelczyk, J.P., Dotson, C.O., Landy, F. J., Smith, J.J. & Davis, P.O. 1990. Advancing age and the cardiorespiratory stress of fire suppression: Determining a minimum standard for aerobic fitness. *Human performance* 3(4): 217-236.

Soukainen, J., Lusa, S., Tulppo, M., Tuomi, P., Kajaste, T. & Louhevaara, V. 1992. Savusukellustehtäviä stimuloivan testiradan kehittäminen ja arviointi osaraportti 10. Teoksessa: Louhevaara, V. & Lusa, S. (toim.) *Palomiesten valintaan ja seurantaan soveltuvien fyysisten toimintakykytestien ja terveystarkastusten kehittämisen arviointi*. Pelastusosaston julkaisusarja B:12, 32-37.

Sovijärvi, A. 2003. Spiroergometria. Teoksessa Sovijärvi, A., Ahonen, A., Hartiala, J., Länsimies, E., Savolainen, S., Turjanmaa, V. & Vanninen, E. (toim.) *Klininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Helsinki: Duodecim, 245-254.

Stein, P.K., Kleiger, R.E. & Rottman, J.N. 1997. Differing effects of age on heart rate variability in men and women. *The american journal of cardiology* 80(3): 302-305.

Tahvanainen, A., Laitinen, T., Kööbi, T. & Hartikainen, J. 2003. Autonomisen hermoston tutkimukset. Teoksessa Sovijärvi, A., Ahonen, A., Hartiala, J., Länsimies, E., Savolainen, S., Turjanmaa, V. & Vanninen, E. (toim.) *Klininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Helsinki: Duodecim, 101-123.

Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology. 1996. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93(5): 1043-1065.

Toimintavalmiusohje. 2003. Sisäasiainministeriön pelastusosaston julkaisuja sarja A. Dnro SM- 2002-00018/Tu-35.

Umetani, K., Singer, D.H., McCraty, R. & Atkinson, M. 1998. Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: Relations to age and gender over nine decades. *Journal of american college of cardiology* 31(3): 593-601.

Vehmasvaara, P. 2004. Ensihoitotyön fyysinen kuormittavuus ja ensihoitajien työkyvyn fyysisiä edellytyksiä arvioivan testistön kehittäminen. Kuopion yliopisto. Fysiologian laitos. Väitöskirja.

Weippert, M., Kumar, M., Kreuzfeld, S., Arndt, D., Riger, A. & Stoll, R. 2010. Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory EKG system. *European journal of applied physiology* 109(4): 779-786.

White Paper by Firstbeat Technologies Ltd. 2007. Indirect EPOC prediction method based on heart rate measurement. Saatavilla osoitteesta: <http://www.firstbeat.fi/fi/osaaminen/white-papers> (luettu 19.5.2011)

Williams-Bell, F.M., Boisseau, G., McGill, J., Kostiuk, A. & Hughson, R.L. 2010. Air management and physiological responses during simulated firefighting tasks in a high-rise structure. *Applied ergonomics* 41(2): 251-259.

Williams-Bell, F.M., Villar, R., Sharratt, M.T. & Hughson, R.L. 2009. Physiological demands of the firefighter candidate physical ability test. *Medicine & science in sports & exercise* 41(3): 653-662.

Zhang, J. 2007. Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 30(5): 374-379.

Åstrand, P-O., Rodahl, K., Dahl, H.A. & Strømme, S.B. 2003. Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. Fourth Edition. Human Kinetics.

LIITTEET

Liite 1.

OHJEITA TUTKIMUKSEEN SAVUSUKELLUSVARUSTUKSESSA

1. Kehon hallinta

Testeissä mitataan liikkumisessa tarvittavaa tasapainoa lankun päällä kävellessä. Ketteryyttä ja koko kehon koordinaatiota mitataan testillä, jossa seisotaan paikallaan ja kerätään mahdollisimman nopeasti palikoita alhaalta ylös ohjauksen mukaan. Testit tehdään sekä urheilu- että savusukellusvarustuksessa. Lisäksi suoritetaan ketteryys ja koordinaatiojuoksurata. Testeihin valmisteluineen kuluu aikaa noin 45 min.

2. Savusukellustestirata

Testirata tehdään Pelastussukellusohjeen (2007) mukaisesti Oulun mallin mukaan. Testin valvoo liikunnanohjaaja. Testi ei ole maksimitesti vaan se suoritetaan ripeästi kävellessä oman kunnon mukaan. Juosta ei saa. Testin aikana mitataan sydämen sykintäaajuutta ja sykevälivaihtelua ja kysytään testattavan subjektiivisia tuntemuksia. Testiin kuluu valmisteluineen ja palautumisineen aikaa noin 45 min.

Testauspaikka:

Helsingin pelastuslaitos

Haagan pelastusasema

Vanha Turunmaantie 2

00300 HELSINKI

Mittaukset tehdään tammikuussa 2009.

Saat testiajan fyysisen toimintakyvyn mittausten yhteydessä.

Ohjeita ennen savusukellustestirataa

Tutkimusten onnistuminen ja tulosten luotettavuus edellyttävät, että vähintään kaksi tuntia ennen tutkimusta on vältettävä tupakkaa, kahvia, teetä ja tukevaa ateriaa. Kevyt ruokailu ennen testejä on toivottavaa, sillä testeissä kuluu energiaa. Lisäksi pyydetään välttämään raskasta ruumiillista rasitusta sekä alkoholin käyttöä testiä edeltävän vuorokauden aikana. Kuitenkin säännölliset lääkkeet tulee ottaa normaalisti. Myöskään suoraan yövuorosta ei testeihin pidä tulla.

Väsyneenä, huonovointisena, vilustumissairauden aikana tai välittömästi sairauden jälkeen ei tutkimuksia voi tehdä. Huomioithan mikäli sinulla on ollut flunssan, vatsaflunssan tms.

yhteydessä kuumetta pitää kuumeesta olla kulunut neljä viikkoa kunnes toimintakykyteihin voi osallistua.

Ota tutkimuksia varten mukaasi urheilujalkineet (esim. lenkkikossut tai muut kengät) sekä urheiluhousut ja t-paita. Tutkimusten jälkeistä suihkussa käyntiä varten ota mukaasi oma pyyhe ja peseytymisvälineet.

Lisäksi ota mukaasi oma savusukellusvarustuksesi. Paineilmalaitteen (teräspullon) ja tarvittavan lisävaatetuksen saat käyttöösi Haagan paloasemalta. Jotta savusukellustestiradan tulos on vertailukelpoinen 13 vuotta sitten tehtyihin mittauksiin, on tutkimukseen varustauduttava samalla tavalla seuraavasti: Kaksiosainen monikerrospalopuku EN 469, alus- ja välivaatetus: pitkähihainen ja -lahkeinen puuvilla alusasu, polyesteri villapaita ja asemahousut, kumiset palomiessaappaat, sukat, kypärä, maski, mikkihiiri, hanskat, palovyö.

Sairaustapauksissa ym. jos mahdollista työpaikaltasi voi tulla sijallesi joku toinen tutkimuskutsun saanut. Ota tällöin välittömästi yhteyttä. Anne Punakallio 030 474 2648 tai Jorma Katajaisalo p. 050 433 6910 kuin muulloinkin ajan peruuttamista / vaihtamista koskevissa tilanteissa.

Lisätietoa:

Anne Punakallio, tutkija

Työterveyslaitos,

p. 030 471 2648

anne.punakallio@ttl.fi

Sirpa Lusa, erikoistutkija

SM / Työterveyslaitos

p. 030 474 8652

sirpa.lusa@ttl.fi

Harri Lindholm,

kliinisen fysiologian erikoislääkäri,

tutkimuksen lääketieteellinen vastuuhenkilö

Työterveyslaitos,

p. 030 474 2762

harri.lindholm@ttl.fi

LIITE 2.**Motorisen taidon testit ja Savusukellustestirata Haagan pelastusasemalla 2009**

Aikatauluarvio

lämmittely (fillari) 5 min

koord. ja ketteryystestirata 5 min

palautuminen 5 min

tasapainotesti ja ketteryystesti

ilman varusteita 5 min

varusteiden pukeminen 10 min

tasapainotesti ja ketteryystesti

varusteissa a) komposiittiplo

b) teräsplo

5 min

 35 min

palautuminen, siirtyminen savu-

sukellustestiradalle, selitykset 15 min

savusukellustestirata 15 min

palautuminen 30 min

 1h 35 min

LIITE 3.**AKTIIVISUUSLUOKAT**

- Valitse aktiivisuusluokka, joka kuvaa parhaiten yleistä harjoittelutasoasi (aerobista harjoittelua ja raskasta fyysistä aktiivisuutta) viimeksi kuluneen kahden tai kolmen kuukauden aikana.
- Jos harjoittelusi on muuttunut merkittävästi kuluneen jakson aikana (noussut tai laskenut) käytä pidempää aikaväliä harjoittelutason määrittämiseen, esim. edellistä kolmea tai neljää kuukautta.
- Kun olet valinnut aktiivisuusluokkasi, tarkista myös taulukon alla olevat huomiot, jotta aktiivisuusluokkasi vastaa mahdollisimman tarkasti nykyistä kuntotasoasi.

	Liikuntakertani viikossa	Liikuntaan kuluttamani aika viikossa	Aktiivisuusluokkani
En harrasta liikuntaa	-	-	0
Harrastan kevyttä liikuntaa silloin tällöin	Kerran kahdessa viikossa	alle 15 min	1
		alle 30 min	2
	Kerran viikossa	~30 min	3
Harjoittelen säännöllisesti	2-3/viikko	~45 min	4
		45-min – 1 h	5
		1 – 3 h	6
	3-5/viikko	3 – 5 h	7
		5 – 7 h	7.5
Harjoittelen päivittäin	Melkein päivittäin	7 – 9 h	8
		9 – 11 h	8.5
	Päivittäin	11 – 13 h	9
		13 – 15 h	9.5
		Yli 15 h	10

Huomioi seuraavat asiat kun valitset tai muutat aktiivisuusluokkaasi:
Sinun tulee muuttaa aktiivisuusluokkaasi silloin kun:

- et ole harjoitellut muutamaan viikkoon

Voit valita aktiivisuusluokkasi 1 tai 2 tasoa korkeammaksi silloin kun:

- olet harjoitellut säännöllisesti usean vuoden ajan ja vähentänyt merkittävästi harjoittelua viimeisten kuukausien tai vuoden aikana.
- olet harrastanut kilpaurheilua, mutta harjoittelet nykyään paljon vähemmän.
- pitkään jatkunut raskas harjoittelu on parantanut aerobista suorituskykyäsi, ja kestät harjoittelua paremmin kuin viimeaikainen aktiivisuutesi antaisi olettaa.

Huomioi myös, että taulukossa esitetyt harjoitusten kestot ja harjoitustiheydet ovat vain keskiarvoja. Saman harjoitushistorian omaavilla henkilöillä voi olla myös eri aktiivisuusluokka. Voit valita myös aktiivisuusluokan, jonka kuvaus ei vastaa täysin harjoitteluhistoriaasi, jos havaitset, että se sopii sinulle suositeltua aktiivisuusluokkaa paremmin.

Taulukossa esitetyt viikoittaiset harjoittelumäärät on tarkoitettu helpottamaan aktiivisuusluokkasi valintaa.

(Mukailtu: Hyvinvointianalyysi versio 3.1. Firstbeat Technologies Oy)